

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

## **ADRs Arbitration strategy between the companies listed on the New York Stock Exchange on the prices Colombian Stock Exchange**

### **Arbitration strategy between the listing of ADRs of companies listed on the New York Stock Exchange and their local prices on the Colombian Stock Exchange**

García rojas, Daniel García; Figueroa Gómez, Luis Daniel; Medina Duarte, Jonathan Orlando.

Universidad Autónoma de Bucaramanga extensión San Gil, Facultad de Ingenierías  
Programa de Ingeniería Financiera  
San Gil, Colombia

Dgarcia882@unab.edu.co  
Lfigueroa500@unab.edu.co  
Jmedina2@unab.edu.co

Fecha de Recepción: 5 junio, 2020  
Fecha de Aceptación:

**Resumen** — En Colombia la actividad del mercado de valores comenzó en el año 1928 con la creación de la Bolsa de Valores de Bogotá siendo la única en el país hasta el año 1961 que nace la Bolsa de Medellín y posteriormente en el año 1983 la Bolsa de Occidente (Cali) (Stevens, 2017).

En la década de 1990, las bolsas de Bogotá, Medellín y Occidente (Cali), iniciaron conversaciones para crear una única plaza bursátil en Colombia. La razón, tener tres mercados de poco tamaño significaba continuar rezagados frente a las demás bolsas del continente, con objetivos comunes que no podrían alcanzarse de continuar cada una por su lado. Finalmente, en 2001, la unión de las bolsas se hizo realidad dando paso a la creación de la Bolsa de Valores de Colombia, una única entidad que desde esa época ha venido administrando los

principales mercados de valores del país (BVC, 2009).

Según el informe mensual presentado por la BVC, durante el mes de abril de 2020, la Bolsa de Valores de Colombia registró un volumen de negociación de Acciones de \$2.219.118.000.000 correspondiente al 88.65% del total de la negociación de los títulos de renta variable contra los \$3.399.384.000.000 correspondientes al 81.07% de la negociación del mes de marzo, evidenciando un decaimiento en la negociación de acciones de \$1.180.266.000.00, es decir, una baja del 34.7%.

Dado el comportamiento del mercado bursátil colombiano y de Nueva York, surge la necesidad 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.

Un ADR (American Depositary Receipt) representa las acciones de una corporación extranjera custodiadas por un banco local, en este caso un banco en los Estados Unidos, y da derecho a los accionistas a todos los dividendos y ganancias sobre el capital. Estos activos financieros emitidos por bancos estadounidenses representan una determinada cantidad de acciones de una empresa extranjera, las que se hallan depositadas en un banco del país de origen de la empresa. (Martín, p.25) 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.

**Palabras clave** — Acciones, ADRs, Arbitraje, Cointegración, Mercados Financieros.

**Abstract** — In Colombia, the activity of the stock market began in 1928 with the creation of the Bogota Stock Exchange, being the only one in the country until 1961 when the Medellin Stock Exchange was born and later in

1983 the Western Stock Exchange (Cali) (Stevens, 2017).

In the 1990s, the Bogotá, Medellín and Occidente (Cali) exchanges began talks to create a single stock market in Colombia. The reason, having three small markets meant continuing to lag behind the other exchanges on the continent, with common objectives that could not be achieved if each one continued on its own. Finally, in 2001, the union of the stock exchanges became a reality, giving way to the creation of the Colombian Stock Exchange, a single entity that since that time has been managing the country's main stock markets (BVC, 2009).

According to the monthly report presented by the BVC, during the month of April 2020, the Colombian Stock Exchange registered a trading volume of Shares of \$ 2,219,118,000,000 corresponding to 88.65% of the total trading of income securities variable against the \$ 3,399,384,000,000 corresponding to 81.07% of the trading in the month of March, evidencing a decline in the trading of shares of \$ 1,180,266,000.00, that is, a decrease of 34.7%.

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

An ADR (American Depositary Receipt) represents the shares of a foreign corporation held by a local bank, in this case a bank in the United States, and entitles shareholders to all dividends and capital gains. These financial assets

issued by US banks represent a certain number of shares of a foreign company, which are deposited in a bank in the country of origin of the company. (Martín, p.25)

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 markets, 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 rate

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 possible the arbitrage operation. 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.

**Keywords** — *Shares, ADRs, Arbitration, Cointegration, Financial Markets.*

## I. INTRODUCCION

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.

Dado a ello, este artículo tiene como objetivo mostrar 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.

## II. MARCO TEORICO

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 adquirentes 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 conseguir las 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 mercados 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.

### III. METODOLOGIA

Existen casos en los que la caída de los precios genera oportunidades de ganancia, y en general circunstancias adversas de los mercados que permiten realizar beneficios a los inversionistas.

Las posibilidades de arbitraje se presentan cuando hay mayor volatilidad en los precios de los activos, esto se presenta generalmente en la apertura o cierre de los mercados y también cuando

se dan movimientos de una variable que es clave en este tipo de arbitraje, la tasa de cambio.

Para escoger la estrategia de arbitraje como el instrumento más adecuado para el cumplimiento del proyecto y sus objetivos se desarrollaron 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 la 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 muestra, 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.

## **IV. 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 llamará EU y las acciones cotizadas en Colombia se llamará 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 esta las 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 generaron las gráficas y tablas necesarias para realizar las pruebas de cointegración.

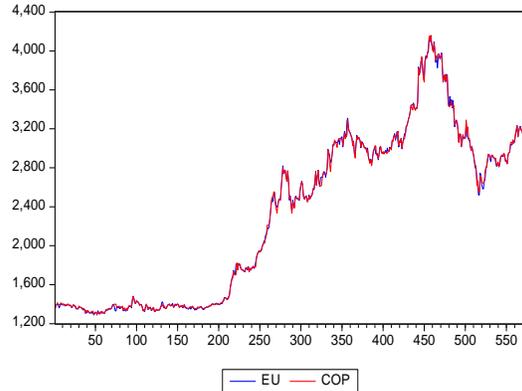
**Tabla 1 Base de datos para pruebas de Cointegración**

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 verificará la existencia o no de integración.

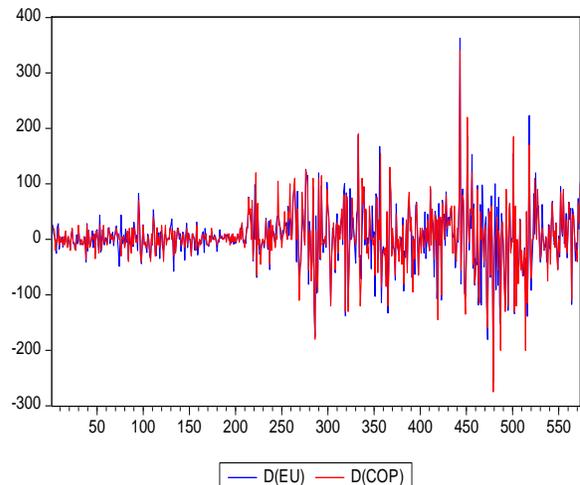
*Ilustración 1 combinación del comportamiento de los precios de EU y COP*



**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.

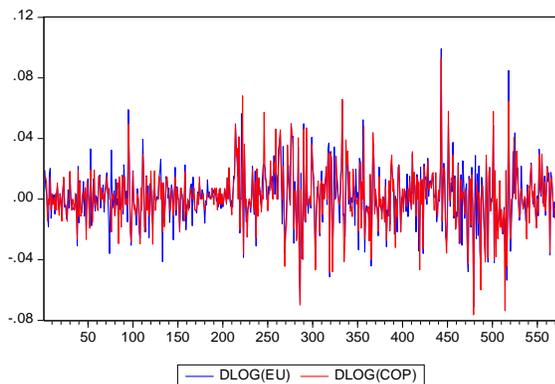
*Ilustración 2 combinación en primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP*



**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.

*Ilustración 3 combinación de los logaritmos en sus primeras diferencias*



**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 mantienen un comportamiento estacionario manteniendo una media 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

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

Se realiza el test de Dickey-Fuller sobre la serie de datos de EU en el logaritmo de su nivel 0 para aceptar o rechazar la hipótesis nula, la cual se acepta debido que el resultado de la probabilidad es de 98.68%.

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

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

Se realiza el test de Dickey-Fuller sobre la serie de datos de EU en su primera diferencia para aceptar o rechazar la hipótesis nula, la cual se rechaza debido que el resultado de la probabilidad es de 0.0%.

Tabla 4 test de raíz unitaria para COP

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

Se realiza el test de Dickey-Fuller sobre la serie de datos de EU en el logaritmo de su nivel 0 para aceptar o rechazar la hipótesis nula, la cual se acepta debido que el resultado de la probabilidad es de 98.78%.

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

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

Se realiza el test de Dickey-Fuller sobre la serie de datos de COP en su primera diferencia para aceptar o rechazar la hipótesis nula, la cual se rechaza debido que el resultado de la probabilidad es de 0.0%.

Una vez hechas las pruebas de raíz unitaria en su nivel y en su primera diferencia tanto para EU como para COP, se concluye que son integradas de primer orden, por lo que se cumple la tercera condición para que sean variables cointegradas.

Tabla 6 regresión de componentes principales de EU y COP

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 método Least Squares, se realiza una regresión de los componentes principales de EU y COP con dos fines: el primero es que a los errores arrojados por la regresión se les aplique el test de raíz unitaria para saber si se cumple o no la cuarta condición para que las series de datos estén cointegradas y, en segundo lugar, usar el coeficiente de la regresión como beta de cointegración en el diseño de la estrategia de arbitraje.

Tabla 7 test de raíz unitaria del error

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

Se realiza el test de Dickey-Fuller sobre la serie de datos del ERROR en el logaritmo de su nivel 0 para aceptar o rechazar la hipótesis nula, la cual se rechaza debido que el resultado de la probabilidad es de 0.0%.

Tabla 8 test de raíz unitaria en su primera diferencia al ERROR

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

Se realiza el test de Dickey-Fuller sobre la serie de datos de ERROR en su primera diferencia para aceptar o rechazar la hipótesis nula, la cual se rechaza debido que el resultado de la probabilidad es de 0.0%.

Según 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 de EU y COP están cointegradas, por lo cual se puede seguir con la aplicación de la estrategia de arbitraje. Cálculo del error de la variación para la muestra.

Tabla 9 Serie de datos Error

Observation	ERROR
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	0.000000

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

Tabla 10 Desviación Estándar serie de datos Error

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 regresión, se exportan y se adjunta en Excel junto a la muestra de 573 datos. Posteriormente se calcula la desviación estándar de la serie de datos del error, el resultado óptimo nos marcará los límites de cruce inferior y superior para la aplicación de la estrategia de arbitraje.

Tabla 2 límites para aplicación de arbitraje

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 putos extremos que la variación del error de la serie de precios de muestra cruce y se ejerza el arbitraje.

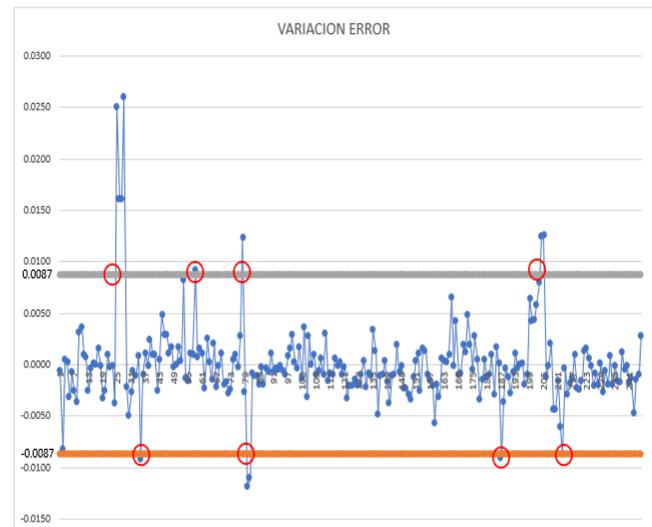
Tabla 12 Calculo error de variación muestra

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  $\text{=LOG(EU)- (BETA DE COINTEGRACION*LOG(COP))}$ .

## – Estrategia de arbitraje



**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. 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.

## Ejecución de la operación

En la operación de arbitraje se debe realizar la ejecución 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 3 intercepto y ejecución de la operación

FECHA	COP	EU	ERROR	PUNTOS DE CORTE	OPERACIÓN	VALOR VENTA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN	VALOR COMPRA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN
12/04/2019	\$ 3,275	\$ 3,271.30	-0.0009	N		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
15/04/2019	\$ 3,230	\$ 3,227.76	-0.0001	N		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
16/04/2019	\$ 3,295	\$ 3,264.89	-0.0098	N		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
17/04/2019	\$ 3,030	\$ 3,208.21	0.0229	P	VEU CCOP	\$ 32,082,130	\$ 180,411	\$ 31,921,720	\$ 30,300,000	\$ 385,000	\$ 30,685,000
18/04/2019	\$ 3,030	\$ 3,142.21	0.0160	P	VEU CCOP	\$ 31,422,100	\$ 157,111	\$ 31,264,990	\$ 30,300,000	\$ 385,000	\$ 30,685,000
19/04/2019	\$ 3,030	\$ 3,142.21	0.0160	P	VEU CCOP	\$ 31,422,100	\$ 157,111	\$ 31,264,990	\$ 30,300,000	\$ 385,000	\$ 30,685,000
22/04/2019	\$ 3,095	\$ 3,283.82	0.0259	P	VEU CCOP	\$ 32,838,100	\$ 184,191	\$ 32,673,909	\$ 30,950,000	\$ 396,500	\$ 31,259,500
1/05/2019	\$ 2,985	\$ 2,931.24	-0.0092	N	VEU CEU	\$ 29,850,000	\$ 149,250	\$ 29,700,750	\$ 29,212,414	\$ 282,124	\$ 29,584,538
3/06/2019	\$ 2,765	\$ 2,833.19	0.0092	P	VEU CCOP	\$ 28,231,865	\$ 141,159	\$ 28,090,706	\$ 27,650,000	\$ 276,500	\$ 27,926,500
1/07/2019	\$ 2,920	\$ 3,002.06	0.0122	P	VEU CCOP	\$ 30,020,609	\$ 150,103	\$ 29,870,506	\$ 29,200,000	\$ 282,000	\$ 29,482,000
3/07/2019	\$ 3,010	\$ 2,937.81	-0.0110	N	VEU CCOP	\$ 30,100,000	\$ 150,500	\$ 29,949,500	\$ 29,270,108	\$ 282,701	\$ 29,570,809
4/07/2019	\$ 3,010	\$ 2,952.45	-0.0111	N	VEU CCOP	\$ 30,100,000	\$ 150,500	\$ 29,949,500	\$ 29,336,290	\$ 283,263	\$ 29,629,553
29/11/2019	\$ 3,290	\$ 3,219.86	-0.0092	N	VEU CCOP	\$ 32,900,000	\$ 164,500	\$ 32,735,500	\$ 32,198,593	\$ 331,988	\$ 32,530,579
24/12/2019	\$ 3,320	\$ 3,414.86	0.0124	P	VEU CCOP	\$ 34,148,583	\$ 170,743	\$ 33,977,840	\$ 33,200,000	\$ 332,000	\$ 33,532,000
25/12/2019	\$ 3,320	\$ 3,415.33	0.0125	P	VEU CCOP	\$ 34,153,344	\$ 170,767	\$ 33,982,577	\$ 33,200,000	\$ 332,000	\$ 33,532,000
6/01/2020	\$ 3,380	\$ 3,311.13	-0.0087	N	VEU CCOP	\$ 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 ejecución de la operación es necesaria la creación de una columna que se llame "PUNTO DE CORTE" en la cual mediante el condicional =SI (ERROR<=PISO;" P"; SI(ERROR>=TECHO;" T"; N)), especificando que "P" y "T" serían los momentos en que la variación del error cruzo los puntos extremos de PISO y TECHO respectivamente y "N" no aplicaría ninguna acción.

El paso siguiente es la validación de la operación a efectuarse teniendo en cuenta el punto en el cual cruzo la variación del error. Para lo anterior se anexa una columna que se llame "OPERACIÓN" la cual se condicionara de la siguiente manera: =SI

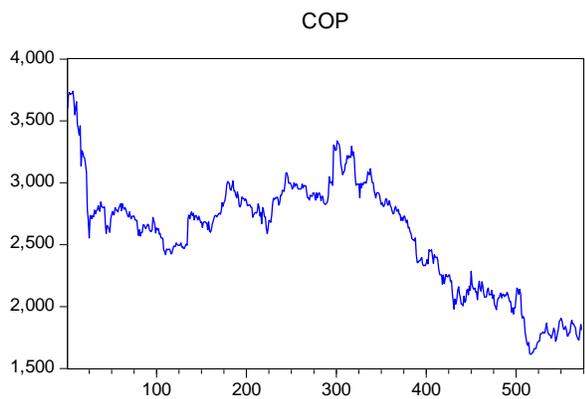
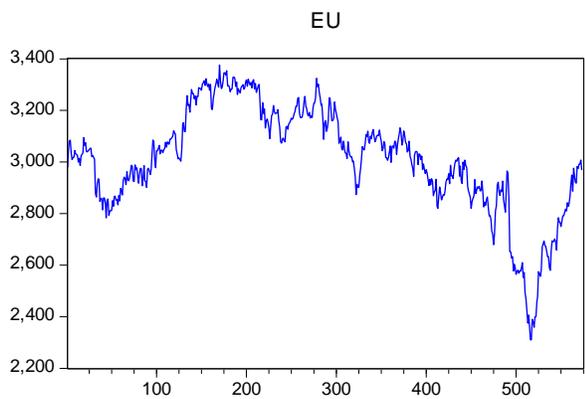
(PUNTODECORTE=" P"; VCOP CEU"; SI (PUNTODECORTE=" T"; VEU CCOP";0)) en donde VCOP CEU nos indica que se debe vender la acción en Colombia y comprar su ADR en Estados Unidos y VEU CCOP debe vender el ADR en Estados Unidos y comprar la acción en Colombia, lo anterior debido a que la variación supero los puntos extremos y ya sea el EU o el COP tiene un mayor precio de cotización. Seguidamente en una columna llamada valor ventar se calcular el valor de la operación, condicionada así =SI(OPERACIÓN="VCOP CEU";COP\*No.ACCIONES;SI(OPERACIÓN="VEU CCOP";EU\*No.ACCIONES";0))

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.

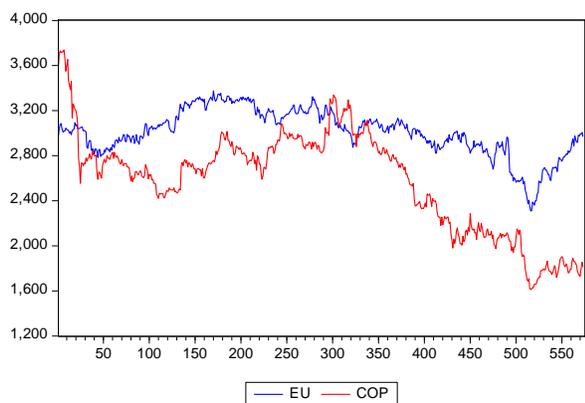
Al realizar la operación de venta, se exige hacer una operación de compra con su contraparte la cual se hará en la columna llamada valor compra, condicionada de la siguiente manera =SI(OPERACIÓN="VCOP CEU";EU\*No.ACCIONES:SI(OPERACIÓN="VEU COP";COP\*No.ACCIONES;0)). También se calcula el valor de la comisión y en este caso se suma a valor de la comprar para el total de la operación de compra.



*Ilustración 4 comportamiento histórico del precio de EU y del precio de COP Avianca Holdings*



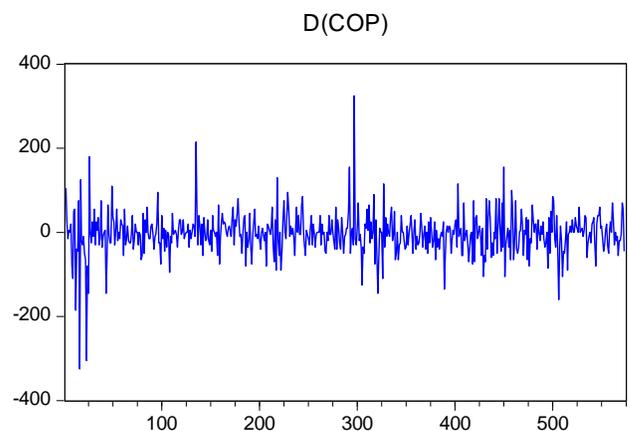
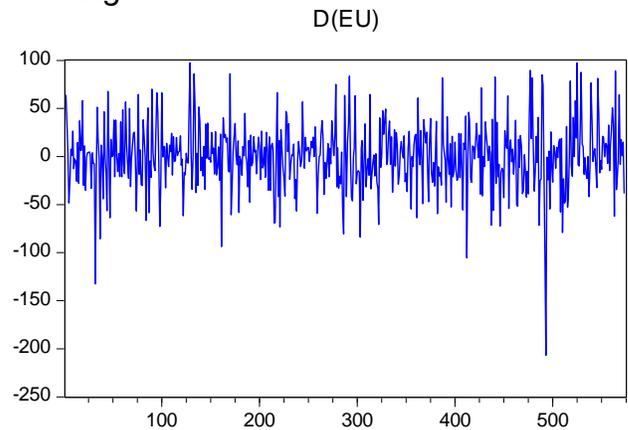
*Ilustración 5 combinación del comportamiento de los precios de EU y COP Avianca Holdings*



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

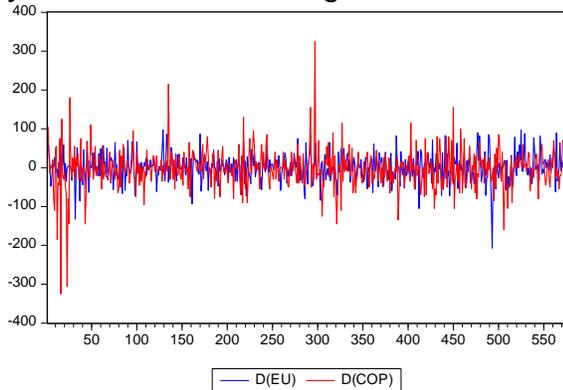
líneas de tendencias llevan un comportamiento diferente entre ellas, con lo cual se comienza a interpretar que no hay una cointegración entre ellas, pero hay que realizar todas las pruebas con el fin de obtener un resultado contundente.

*Ilustración 6 primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Avianca Holdings*



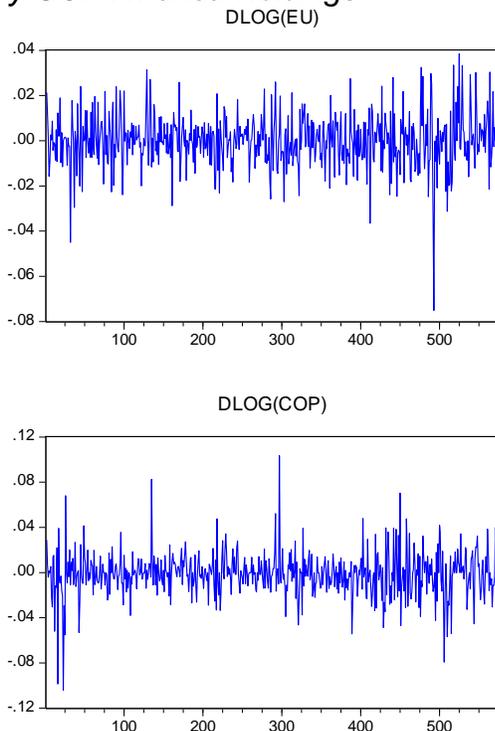
Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg.

**Ilustración 7 combinación en primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Avianca Holdings**



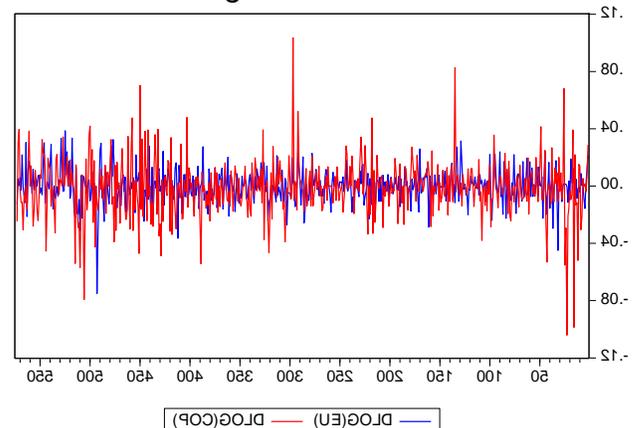
Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg. Las ilustraciones 10 y 11 demuestran que en sus primeras diferencias poseen un comportamiento estacional, es decir, en la base de su ecuación o su movimiento poseen un comportamiento similar con tendencia de media cero.

**Ilustración 8 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 9 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 así la tercera condición para que dos series 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	0.0585
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

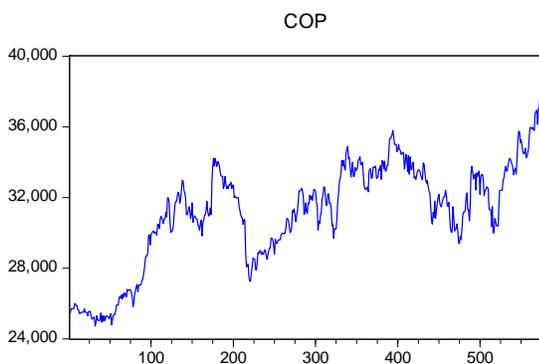
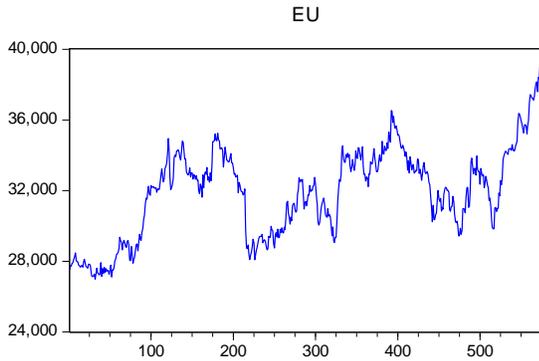
Null Hypothesis: D(ERROR) has a unit root				
Exogenous: None				
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=18)				
			t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic			-26.53635	0.0000
Test critical values:	1% level		-2.569018	
	5% level		-1.941379	
	10% level		-1.616327	
*MacKinnon (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

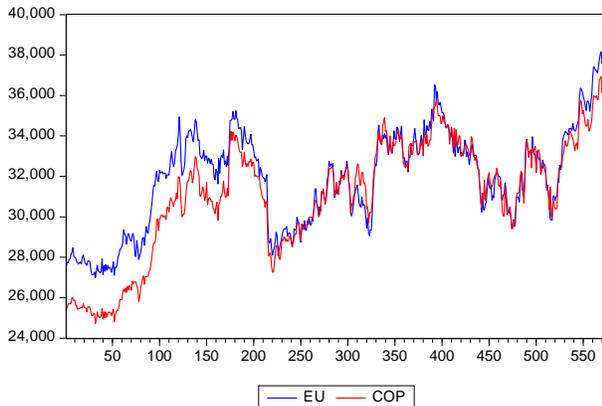
Validación cointegración de series de datos

*Ilustración 10 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 11 comportamiento histórico del precio de EU y del precio de COP Bancolombia*

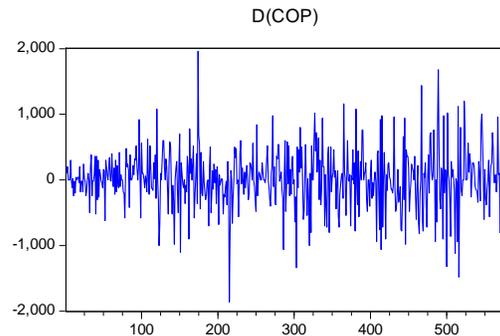
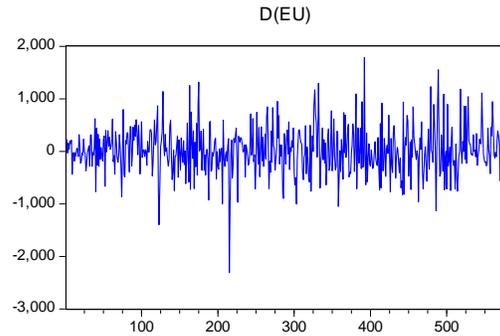


Nota. Fuente: elaboración propia mediante Eviews a partir de datos obtenidos de Bloomberg

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

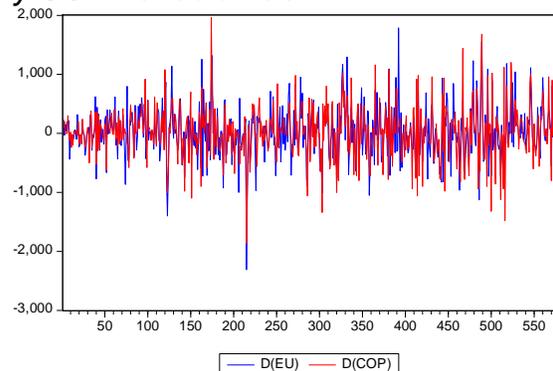
Ecopetrol la cual presentaba un comportamiento más semejante entre la acción y el ADR, Bancolombia presenta variaciones más significativas entre los dos títulos. De igual forma se cumple la primera condición de cointegración lo que permite avanzar en el análisis.

*Ilustración 12 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

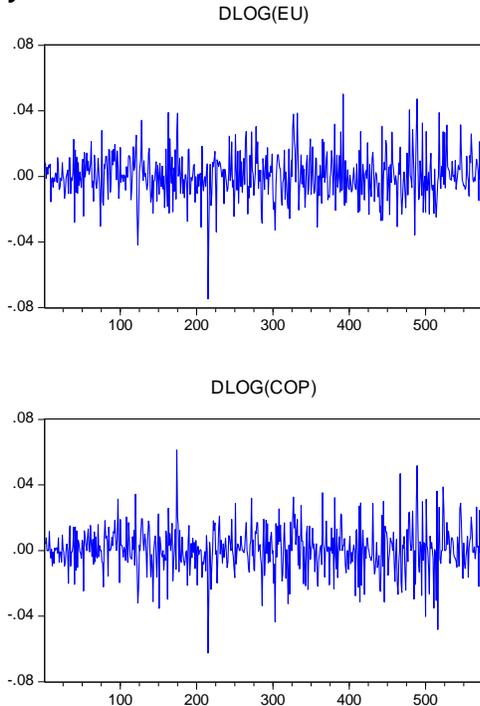
*Ilustración 13 combinación en primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Bancolombia*



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

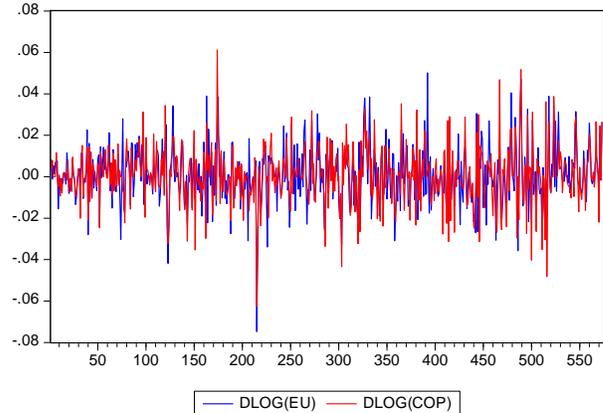
Las ilustraciones 16 y 17 demuestran que en sus primeras diferencias poseen un comportamiento estacional, es decir, en la base de su ecuación o su movimiento poseen un comportamiento similar con tendencia de media cero, siendo un claro indicio de que pueden estar cointegradas.

**Ilustración 14** *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 15** *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			
Test critical values:		1.061838	0.9250
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
LOG(EU(-1))	5.96E-05	5.62E-05	1.061838
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				
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				
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				
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)	1.002530	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	-3.798343	
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

cumplirsen 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 integradas 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 6 Serie de datos Error

Observation	Value
1	0.054586
2	0.059012
3	0.050014
4	0.05487
5	0.056839
6	0.063782
7	0.057403
8	0.055724
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	0.063857

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

**Tabla 7 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 arbitraje.

**Tabla 8 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 desvacion estandar con el fin de que la linea 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.

**Tabla 9 Calculo 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 limites

**Ilustración 16 variación error muestra Bancolombia**



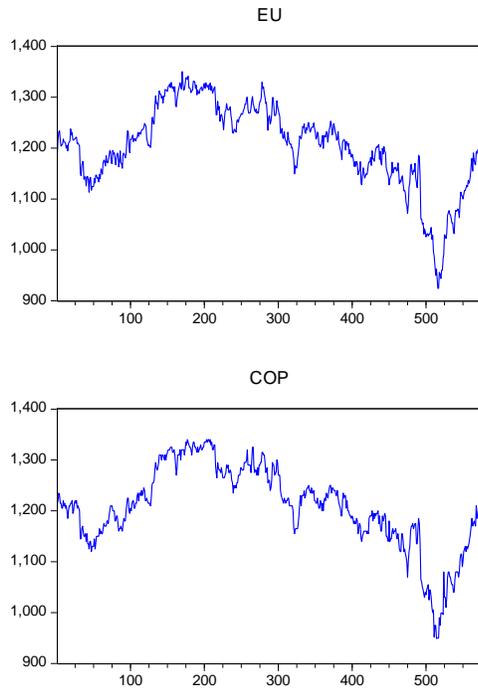
Nota. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de Bloomberg

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

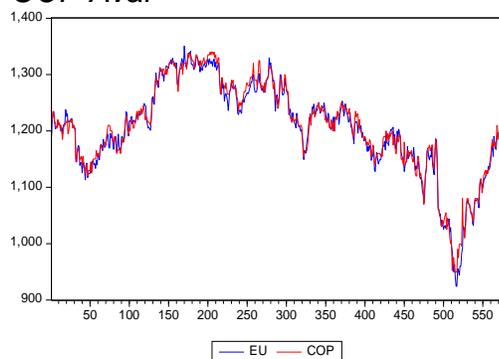
Validación cointegración de series de datos

*Ilustración 17 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.

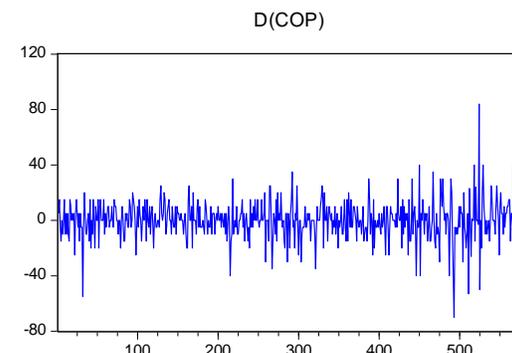
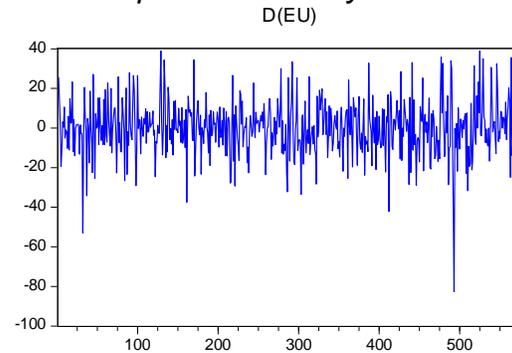
*Ilustración 18 combinación del comportamiento de los precios de EU y COP Aval*



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

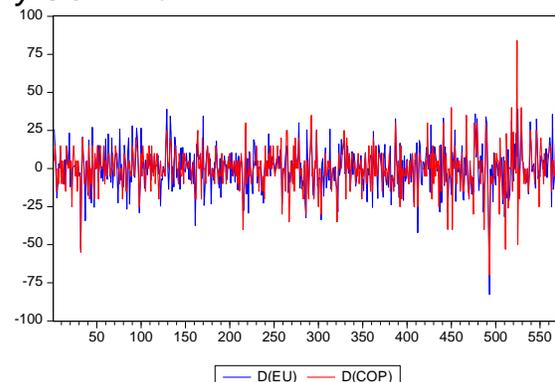
Al igual que con los ADRs de Ecopetrol y Bancolombia, los títulos de aval poseen la características de comportamiento no estacional y la similitud bastante evidente de las dos series de tiempo, por lo que cumple con el primer requisito de la cointegración.

*Ilustración 19 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

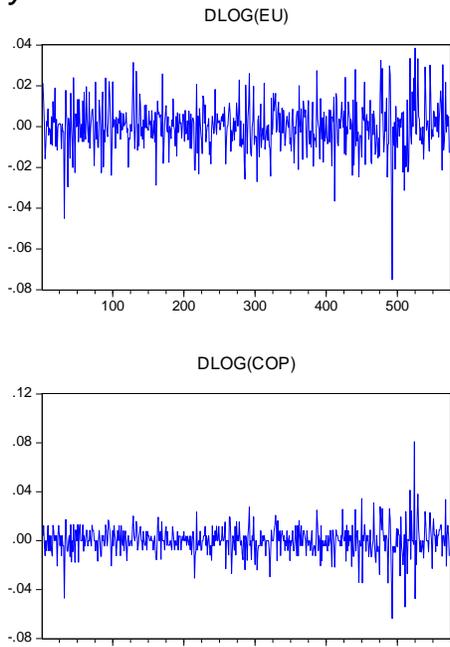
*Ilustración 20 combinación en primeras diferencias de la serie de precios de EU y COP Aval*



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

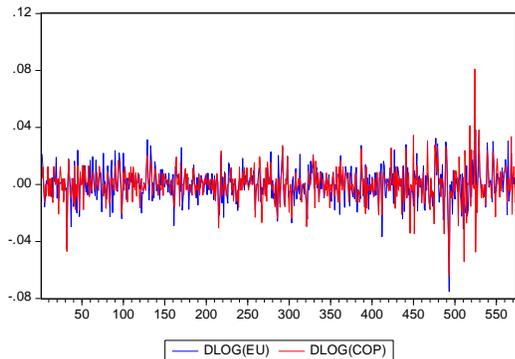
En las ilustraciones 23 y 24 la base de la ecuación muestra un comportamiento mucho más estacional a comparación de las otras acciones y ADRs, su tendencia de media cero es más fuerte y por ende su estacionalidad.

**Ilustración 21** *logaritmo de las primeras diferencias de las series de precio de EU y COP Aval*



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

**Ilustración 22** *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 comparacion de Ecopetrol y Bancolombia, situacion que puede llegar a afectar la variacion de la muestra debido a que la misma probailidad no es muy certera, pero a pesar del 67.16% obtenido se acepta la hipotesis nula ya que supera el 5% de margen de aceptacion. En el caso contrario de su primera defierencia el resultado es de la probabilidad es 0%, indicando que el ADR de Aval es integrada de orden 1.

Tabla 35 test de raiz 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 raiz 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

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

### Cálculo de límites

Tabla 10 Serie de datos Error Aval

Observation	Value
1	-0.016713
2	0.000532
3	0.000406
4	0.005722
5	0.002254
6	-0.005674
7	0.004155
8	0.004521
9	0.000861
10	0.004876
11	-9.95E-06
12	0.005788
13	-0.005860
14	0.007261
15	0.010579
16	0.010326
17	0.004110
18	0.006263
19	0.021115
20	.....

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

Tabla 11 Desviación Estándar serie de datos Error Aval

Una vez aplicado el test de raíces unitarias a la serie de datos de error tanto

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

Tabla 12 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 más efectivos.

Variación del error en la muestra de aplicación de la estrategia

Tabla 13 Cálculo error de variación muestra Aval

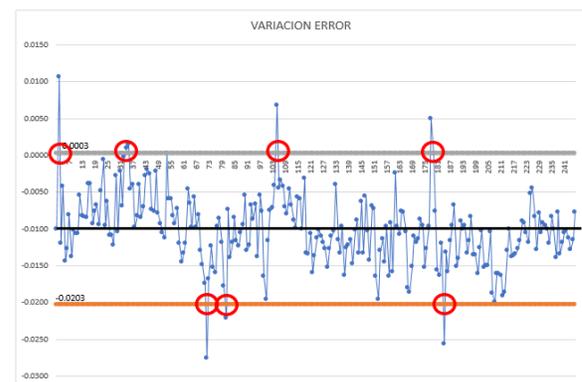
FECHA	COP	EU	ERROR
14/03/2019	\$ 1,205	\$ 1,199	-0.0101
15/03/2019	\$ 1,145	\$ 1,195	0.0107
18/03/2019	\$ 1,220	\$ 1,208	-0.0120
19/03/2019	\$ 1,210	\$ 1,220	-0.0042
20/03/2019	\$ 1,235	\$ 1,217	-0.0144
21/03/2019	\$ 1,220	\$ 1,206	-0.0127
22/03/2019	\$ 1,215	\$ 1,214	-0.0081
25/03/2019	\$ 1,215	\$ 1,198	-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 cálculo 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 23 variación error muestra Aval



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:

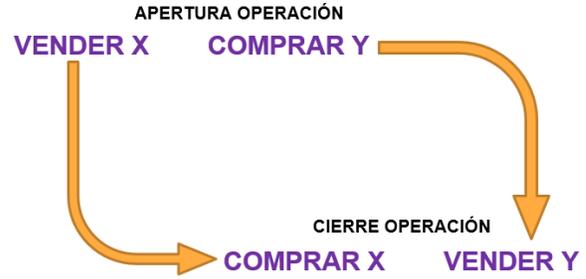
PISO	-0.0203
TECHO	0.0003

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 14 intercepto y ejecución de la operación de Aval

	A	B	C	D	E	K	L	M	N	O	P	Q	R
	FECHA	COP	EU	ERROR	PUNTOS DE CORTE	OPERACIÓN	VALOR VENTA	VALOR COMPRA	TOTAL OPERACIÓN	VALOR COMPRA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACIÓN	
4													
5	14/03/2018	\$ 1.205	\$ 1.195	-0.0001	N								
6	15/03/2018	\$ 1.145	\$ 1.195	0.0007	T	VEU CCOP	\$ 11,947,647	\$ 59,750	\$ 11,887,897	\$ 11,450,000	\$	\$ 114,500	\$ 11,564,500
38	30/04/2018	\$ 1.245	\$ 1.271	0.0005	T	VEU CCOP	\$ 12,705,572	\$ 63,528	\$ 12,642,044	\$ 12,450,000	\$	\$ 124,500	\$ 12,574,500
39	1/05/2018	\$ 1.245	\$ 1.272	0.0005	T	VEU CCOP	\$ 12,722,833	\$ 63,614	\$ 12,659,219	\$ 12,450,000	\$	\$ 124,500	\$ 12,574,500
76	21/06/2018	\$ 1.280	\$ 1.223	-0.0278	P	VCOP CEU	\$ 12,800,000	\$ 64,000	\$ 12,736,000	\$ 12,233,370	\$	\$ 122,340	\$ 12,356,310
85	4/07/2018	\$ 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
103	1/08/2018	\$ 1.320	\$ 1.262	0.0068	T	VEU CCOP	\$ 12,616,175	\$ 63,091	\$ 12,553,084	\$ 12,200,000	\$	\$ 122,000	\$ 12,322,000
182	18/11/2018	\$ 1.388	\$ 1.421	0.0050	T	VEU CCOP	\$ 14,263,932	\$ 71,350	\$ 14,192,582	\$ 13,850,000	\$	\$ 138,500	\$ 13,989,500
188	26/11/2018	\$ 1.405	\$ 1.343	-0.0257	P	VCOP CEU	\$ 14,050,000	\$ 70,250	\$ 13,979,750	\$ 13,490,133	\$	\$ 134,301	\$ 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 de 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.

### Cálculo de utilidades

Tabla 16 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 OPERACION	VALOR COMPRA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACION		CIERRE OPERACION	VALOR COMPRA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACION	VALOR VENTA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACION	V - C	C - V	RESULTADO ESTRATEGIA ARBITRAJE	
6	VEU	COOP	\$ 16,341,641	\$ 5,750	\$ 16,347,391	\$ 16,450,000	\$ 16,500	\$ 16,560,000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
7	CO	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	CEU	VEU	\$ 10,084,862	\$ 60,484	\$ 10,145,346	\$ 10,200,000	\$ 61,000	\$ 10,261,000	\$ 251,268	\$ 174,500	\$ 37,192
30	VEU	COOP	\$ 10,255,572	\$ 63,528	\$ 10,319,100	\$ 10,450,000	\$ 104,500	\$ 10,554,500	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
33	VEU	COOP	\$ 10,722,633	\$ 63,614	\$ 10,786,247	\$ 10,450,000	\$ 104,500	\$ 10,554,500	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
35	CO	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	CEU	VEU	\$ 23,455,673	\$ 117,278	\$ 23,572,951	\$ 23,600,000	\$ 119,000	\$ 23,721,951	\$ 1,128,117	\$ 1,661,600	\$ 51,017
36	VEU	COOP	\$ 10,890,000	\$ 64,000	\$ 10,954,000	\$ 10,250,000	\$ 102,500	\$ 10,356,500	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
37	CO	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	COOP	VEU	\$ 10,800,000	\$ 64,000	\$ 10,864,000	\$ 10,341,703	\$ 62,103	\$ 10,426,103	\$ 108,000	\$ 102,481	\$ 5,136
42	VEU	COOP	\$ 10,050,000	\$ 65,250	\$ 10,115,250	\$ 10,650,000	\$ 106,500	\$ 10,756,500	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
43	CO	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	COOP	VEU	\$ 10,000,000	\$ 65,250	\$ 10,065,250	\$ 10,262,107	\$ 64,611	\$ 10,329,861	\$ 100,750	\$ 101,051	\$ 13,633
102	VEU	COOP	\$ 10,418,773	\$ 63,001	\$ 10,481,774	\$ 10,200,000	\$ 102,000	\$ 10,302,000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
103	CO	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	COOP	VEU	\$ 10,235,276	\$ 61,191	\$ 10,296,467	\$ 10,300,000	\$ 61,500	\$ 10,357,967	\$ 255,600	\$ 83,560	\$ 122,100
102	VEU	COOP	\$ 14,183,932	\$ 71,500	\$ 14,255,432	\$ 13,850,000	\$ 138,500	\$ 13,988,500	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
103	CO	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	COOP	VEU	\$ 13,610,000	\$ 68,034	\$ 13,678,034	\$ 13,820,000	\$ 69,250	\$ 13,947,284	\$ 581,364	\$ 302,750	\$ 210,234
103	VEU	COOP	\$ 14,050,000	\$ 70,250	\$ 14,120,250	\$ 13,450,000	\$ 134,500	\$ 13,584,500	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
103	CO	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	COOP	VEU	\$ 13,050,000	\$ 63,250	\$ 13,113,250	\$ 13,655,451	\$ 66,427	\$ 13,679,727	\$ 60,900	\$ 6,017	\$ 52,453

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

Cierre de la operación de la estrategia Tabla 15 intercepto y cierre de la operación Aval

A	B	C	D	E	K	L	U	Y	W	X	Y	Z	AA	AB
FECHA	COP	VEU	ERROR	PUNTO DE CRUCE	OPERACION	SEÑAL DE CIERRE	CIERRE OPERACION	VALOR COMPRA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACION	VALOR VENTA	VALOR COMISION	TOTAL OPERACION	
14/03/2018	\$ 1,205	\$ 1,199	-0.0050		VEU	COOP	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
15/03/2018	\$ 1,145	\$ 1,191	0.0076		COOP	VEU	\$ 1,084,832	\$ 60,424	\$ 1,145,256	\$ 12,200,000	\$ 61,000	\$ 12,261,000		
16/03/2018	\$ 1,223	\$ 1,208	-0.0123		COOP	VEU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
16/03/2018	\$ 1,245	\$ 1,271	0.0094		VEU	COOP	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
17/03/2018	\$ 1,349	\$ 1,272	-0.0061		COOP	VEU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
20/03/2018	\$ 1,180	\$ 1,173	-0.0059		COOP	VEU	\$ 23,455,673	\$ 117,278	\$ 23,572,951	\$ 23,600,000	\$ 119,000	\$ 23,721,951		
21/03/2018	\$ 1,091	\$ 1,221	0.0120		VEU	COOP	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
24/03/2018	\$ 1,349	\$ 1,274	-0.0056		COOP	VEU	\$ 10,800,000	\$ 64,000	\$ 10,864,000	\$ 10,341,703	\$ 62,103	\$ 10,426,103		
27/03/2018	\$ 1,203	\$ 1,234	0.0256		COOP	VEU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
28/03/2018	\$ 1,223	\$ 1,234	0.0090		COOP	VEU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
28/03/2018	\$ 1,230	\$ 1,234	0.0033		COOP	VEU	\$ 10,200,000	\$ 63,500	\$ 10,263,500	\$ 10,302,000	\$ 64,611	\$ 10,366,611		
29/03/2018	\$ 1,223	\$ 1,234	0.0090		COOP	VEU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
30/03/2018	\$ 1,223	\$ 1,234	0.0090		COOP	VEU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
31/03/2018	\$ 1,385	\$ 1,361	-0.0174		COOP	VEU	\$ 13,610,000	\$ 68,034	\$ 13,678,034	\$ 13,820,000	\$ 69,250	\$ 13,947,284		
31/03/2018	\$ 1,385	\$ 1,361	-0.0174		COOP	VEU	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
31/03/2018	\$ 1,405	\$ 1,348	-0.0407		COOP	VEU	\$ 13,050,000	\$ 63,250	\$ 13,113,250	\$ 13,655,451	\$ 66,427	\$ 13,679,727		

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.

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 17 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 18 comparativo estrategia vs activo libre de riesgo*

	ESTRATEGIA ARBITRAJE		ACTIVOS LIBRES DE RIESGO	
	ECOPETROL	AVAL	Bono TFI15240720	CDT 360
Periodo	1 año	1 año	1 año	1 año
Inversión	\$ 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 evidenció que las acciones y sus ADRs tuvieron los mismos días de cotización, lo cual facilitó 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 presentaron 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 superó los límites 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 presentó una rentabilidad bastante baja, esto debido a

posiblemente a la baja variación o volatilidad de los precios.

#### Referencias:

Acevedo, N., Friedman, 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/A>

[cerca\\_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-transacciones-2959659>

Pérez, A. B. (01 de 01 de 2010). Enciclopedia Financiera. Obtenido de <https://www.encyclopediafinanciera.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>