



# **Facultad de Ciencias de la Administración**

## **Carrera de Economía**

Análisis a la implementación de Machine Learning al modelo Black Scholes y su consideración en la diversificación de instrumentos en el mercado de valores ecuatoriano para el financiamiento empresarial

### **Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de Economista**

#### **Autor:**

Francis Eduardo Beltrán Beltrán

#### **Director:**

Econ. Wazhington Bladimir Proaño Rivera

**Cuenca – Ecuador**

#### **Año**

2025

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a todas las personas, estudiantes, investigadores que deseen saber más respecto al mercado de valores nacionales como internacionales y en especiales a las futuras investigaciones en el campo de las finanzas, análisis de datos y economía en general.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a todas las personas que me brindaron su apoyo durante todo el proceso de elaboración de este trabajo investigativo, mi familia, mi tutor y en especial a Dios por permitirme cumplir con este objetivo.

## Índice de Contenido

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
Índice de Contenido.....	iv
Índice de Figuras .....	v
Índice de Tablas.....	vi
Anexos .....	vii
RESUMEN Y ABSTRACT .....	viii
1. Introducción .....	1
2. Marco Teórico y Estado del Arte .....	2
3. Metodología .....	6
3.1    Precio del activo subyacente ( $S_0$ ) .....	8
3.2    La volatilidad ( $\sigma$ ) .....	9
3.3    El tiempo hasta el vencimiento ( $t$ ) .....	9
3.4    La tasa de interés libre de riesgo ( $r$ ) .....	10
3.5    El precio de ejercicio o strike ( $K$ ) .....	10
3.6    Función de distribución normal estándar acumulada $N(d)$ .....	11
3.7    Análisis y depuración de la base de datos.....	12
3.8    Normalización y preparación de datos para el modelo.....	12
3.9    Implementación de una red neuronal artificial (RNA). .....	12
3.10   Configuración de capas ocultas, activaciones y optimizador según desempeño del conjunto de datos. .....	13
3.11   Entrenamiento del modelo .....	13
3.12   Generación de métricas de rendimiento (MSE, RMSE, $R^2$ ) y estimación de la variable respuesta del modelo.....	14
4. Resultados .....	15
5. Discusión .....	25
6. Conclusiones .....	26
7. Referencias .....	28

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> Diagrama de la red neuronal artificial para la estimación del precio de la opción.....	<b>11</b>
<b>Figura 2</b> Valores Totales Negociados en Renta Fija y Variable, tasa de crecimiento anual .....	<b>16</b>
<b>Figura 3</b> Capitalización bursátil en el Ecuador para el periodo 2013 a 2023 .....	<b>17</b>
<b>Figura 4</b> Precios del cacao y su variación porcentual entre los años 2013 a 2024 .....	<b>18</b>
<b>Figura 5</b> Gráfica de dispersión entre valores reales y estimados del precio de la opción “call”	20
<b>Figura 6</b> Gráfico de dispersión entre valores reales y estimados del precio de la opción “put”.	<b>21</b>
<b>Figura 7</b> Gráfico de comparación entre los valores reales del precio de la opción de compra y el estimado por RNA .....	<b>22</b>
<b>Figura 8</b> Gráfico de comparación entre los valores reales del precio de la opción de compra y el estimado por RNA .....	<b>23</b>

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Montos Negociados en renta variable y fija a Nivel Nacional para el periodo 2013 a 2023 .....	<b>15</b>
<b>Tabla 2</b> PIB anual del Ecuador, Montos totales negociados y el indicador de profundidad bursátil .....	<b>16</b>
<b>Tabla 3</b> Valores del precio internacional del cacao en dólares por tonelada .....	<b>18</b>
<b>Tabla 4</b> Valores de las variables independientes del modelo Black Scholes .....	<b>19</b>
<b>Tabla 5</b> Valores de las metricas de rendimiento del modelo de redes neuronales artificiales para las opciones “call y put” .....	<b>22</b>
<b>Tabla 6</b> Tabla de estrategias para la inversión en opciones de compra y venta considerando el precio de ejercicio (K) .....	<b>24</b>

## **Anexos**

<b>Anexo 1 Base de datos completa con las variables del modelo y sus respectivas estimaciones</b>	20
---	----

## RESUMEN

El análisis del mercado de valores ecuatoriano no se ha destacado a través de los años, sin embargo, económicamente en los últimos años los mercados bursátiles se han convertido en un medio para actividades de financiamiento e inversión del sector privado y público de una economía. De esta manera en este artículo se plantea la idea de diversificar los instrumentos financieros del mercado de valores ecuatoriano a través de la implementación de derivados tales como las opciones financieras, como herramientas de cobertura para las empresas productoras agrícolas e industriales de cacao en Ecuador y de esta incentivar a las empresas con su participación en actividades bursátiles, con la finalidad de crear capitalización bursátil. Complementariamente se realizó la implementación de un modelo de Machine Learning de “redes neuronales artificiales” con la finalidad de estimar el precio de las opciones financieras para el precio del cacao. Como resultado se obtuvo que el algoritmo de redes neuronales artificiales fue un 99,99% efectivo en la predicción del precio de las opciones, por lo que, esto también facilita la implementación de estrategias para la cobertura ante la fluctuación de los precios del cacao tanto para los productores agrícolas e industriales.

**Palabras clave:** Opciones financieras; Cobertura; redes neuronales; financiamiento

## ABSTRACT

The analysis of the Ecuadorian stock market has not stood out over the years. However, economically speaking, in recent years, stock markets have become a means for financing and investment activities in the private and public sectors of an economy. This article therefore proposes the idea of diversifying the financial instruments of the Ecuadorian stock market through the implementation of derivatives such as financial options as hedging tools for agricultural and industrial cocoa producers in Ecuador, thereby encouraging companies to participate in stock market activities with the aim of creating market capitalization. In addition, a machine learning model of “artificial neural networks” was implemented to estimate the price of financial options for the price of cocoa. The result was that the artificial neural network algorithm was 99.99% effective in predicting the price of options, which also facilitates the implementation of strategies to hedge against fluctuations in cocoa prices for both agricultural and industrial producers.

**Key words:** Financial options; hedging; neural networks; financing

## 1. Introducción

A través de los años han surgido nuevos métodos y herramientas para la inversión del sector privado, lo que ha incentivado al estudio económico y posteriormente al desarrollo de nuevas teorías económicas. Esto ha permitido al sector económico privado beneficiarse, dadas las nuevas estrategias para la inversión o financiamiento, sin embargo, para el caso del Ecuador el sector privado aun considera la opción de invertir de manera tradicional y segura, dejando de lado las opciones como lo es el mercado de valores o bursátil tuque ofrece un sinnúmero de opciones con sus instrumentos de renta variable y renta fija. Según datos de la Bolsa de Valores de Quito (2024) alrededor de 302 empresas cotizan en bolsa, de las cuales la mayoría optan por un financiamiento a través de instrumentos de renta fija, esto en su mayoría y de acuerdo a diversas fuentes bibliográficas se debe al desconocimiento, falta de herramientas para el análisis e inversión y en ciertos casos debido a las políticas para la inversión.

Cabe destacar que debido a la ineficiencia del mercado de valores ecuatoriano aún no se ha podido implementar los derivados financieros en las actividades bursátiles, lo cual disminuye el atractivo y la capacidad de abastecimiento respecto a las herramientas para el financiamiento e inversión de los agentes económicos del sector privado de la economía. Los instrumentos financieros del mercado de valores ecuatoriano aún no se encuentran consolidados en su totalidad, debido al poco desarrollo del mismo, sin embargo, es necesario que las entidades reguladoras del mercado bursátil desarrollen mecanismos de control con la finalidad de transparentar la información disponible para los inversionistas y de esta manera generar mayor confianza. Según Vásquez, Muños y Ortega (2020) el mercado de valores ecuatoriano tuvo su desarrollo durante los años del boom petrolero, sin embargo, no ha existido intenciones de desarrollo del mismo, por lo que la mayoría de empresas han optado por métodos tradicionales de inversión y financiamiento, lo cual no ha ayudado al desarrollo de los instrumentos financieros de renta variable en el mercado de valores nacional.

De esta manera es fundamental realizar un análisis respecto a la implementación de derivados financieros en el mercado bursátil ecuatoriano a través de las opciones financieras y los productos agrícolas que en este caso es el cacao. En este artículo como objetivo principal se presentará la opción de implementar modelos de aprendizaje autónomo “machine learning” a la valoración de opciones financieras de productos agrícolas como el cacao y de esta manera generar una herramienta para la inversión o

financiamiento del sector empresarial. En ese sentido, es importante mencionar que el “cacao” es uno de los principales productos agrícolas de producción y comercialización en el Ecuador, según datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2024) el país pasó de estar en el séptimo puesto en producción a nivel internacional al cuarto puesto debido al incremento de la producción, además a nivel de América pasó a estar en el primer puesto en la producción, esto debido a diversos factores como el incremento de los precios a nivel internacional, la escasez del producto, entre otros factores. De esta manera, es importante considerar nuevas estrategias para el financiamiento de empresas productores y de comercialización del cacao en el Ecuador, por lo que se consideró la implementación de derivados financieros como lo son las opciones a través de un análisis con modelos de aprendizaje autónomo, en este caso “redes neuronales artificiales”.

En una primera parte del estudio se realizará un análisis de la situación actual del mercado de valores ecuatoriano, en donde se pretenderá analizar descriptivamente la situación en la inversión en el monto de inversión en renta variable y fija en el periodo de análisis de 2013 a 2023, también se pretende analizar el nivel de participación en el mercado de valores por parte del sector empresarial posteriormente se presentará el modelo a utilizar para la valoración de las opciones financieras a través de los precios de productos agrícolas como el cacao y finalmente se propondrá una estrategia para el financiamiento empresarial a través de diversificación en instrumentos de renta variable como lo son las opciones financieras.

## **2. Marco Teórico y Estado del Arte**

Según la Bolsa de Valores de Quito (2024) el mercado de valores o financiero del Ecuador tiene la finalidad de servir como medio para la realización de diferentes actividades financieras a través de la canalización de recursos mediante la negociación de valores. Es importante mencionar que el mercado de valores constituye un medio interesante de financiamiento, además de considerarse como una opción para la obtención de rentabilidad. De acuerdo a los resultados presentados por la Bolsa de Valores de Guayaquil en el año 2019 las actividades en el mercado bursátil crecieron en comparación con años anteriores (BVG, 2019), lo que representa un mayor interés por parte del sector privado en temas de inversión y financiamiento en el mercado de valores ecuatoriano.

En lo que respecta a los medios de canalización de los recursos financieros en el mercado de valores, se hacen presentes los instrumentos financieros los cuales permiten realizar actividades de inversión y financiamiento a través de los mismos (BVQ, 2024). Dentro

de las actividades financieras que se llevan a cabo en el contexto del mercado bursátil, cabe destacar que existen actividades que proporcionan renta fija y variables, esto dependiendo de los instrumentos financieros utilizados por los inversores dentro de las actividades.

Para la Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros (2020) los mercados financieros son espacios donde los oferentes y demandantes intercambian recursos o instrumentos financieros caracterizados por su renta fija y variables. Según la Bolsa de Valores de Quito (2024) los instrumentos financieros que proporcionan renta fija para los inversores son un tipo de inversión que ofrece pagos regulares y predecibles dado su vencimiento determinado, caracterizados por una tasa de interés fija los más comunes son: los bonos, certificados de depósito, obligaciones, pagarés, entre otros. En cambio, los instrumentos de renta variables se caracterizan en primera instancia por el factor de la volatilidad lo cual es determinante para los rendimientos que obtiene el inversor, es decir los instrumentos de renta variable son inversiones que dependen del comportamiento del mercado entre los oferentes y demandantes en el corto, mediano y largo plazo; los instrumentos de renta variable más comunes son: acciones, índices bursátiles, derivados financieros, ETFs, entre otros.

En el contexto del análisis de los instrumentos financieros de renta variables presentes en el mercado de valores, cabe destacar la importancia de los derivados financieros que son instrumentos descritos como productos financieros cuyo valor depende de la evolución del precio de un activo (Banco Santander, 2020). Según Gray y Place (2003) el derivado más recurrente en un mercado de valores son las opciones que se distinguen de dos tipos de compra (call) y venta (put); este instrumento financiero cuenta con distintos modelos de valoración, sin embargo, uno de los modelos de valoración más conocido es el modelo Black Scholes que según Oleaga (2011) es un hito que mezcla el análisis matemático profundo y el concepto de las finanzas. Según Finan (2015) una opción financiera es un instrumento financiero derivado que supone un derecho de adquisición y mas no la obligación para el inversor de comprar un activo subyacente a un precio determinado en la negociación de la opción financiera inicialmente.

Con respecto al modelo de valoración de opciones financieras Black Scholes el cual fue planteado por Fisher Black y Myron Scholes, junto con Robert Merton en 1973, expresa los principios de estudio del comportamiento del precio de los instrumentos financieros de Louis Bachelier propuesto a inicios del siglo XVIII, el cual se basó en los principios del modelo de estudio del movimiento browniano, el mismo que estudia el

comportamiento aleatorio de partículas debido a choques en el espacio. A pesar de que en la actualidad existen modelos de valoración de opciones financieras más avanzados que permiten evaluar los riesgos de inversión en mercados financieros impredecibles, el modelo Black Scholes ha servido como base en las investigaciones realizadas respecto a modelos financieros matemáticos de valoración de instrumentos financieros.

Con respecto a los avances en los estudios de los modelos de valoración financiera el machine learning se ha convertido en una herramienta útil para el desarrollo y análisis de nuevos modelos complejos matemáticos financieros de valoración. Según el BBVA (2024) el machine learning es una herramienta tecnológica que permite la utilización de algoritmos de aprendizaje con la finalidad de procesar a una gran cantidad de datos, para su posterior análisis en diferentes áreas de estudio; en el caso del área financiera en los últimos años el machine learning se han convertido en una herramienta versátil que permite el desarrollo de nuevos modelos financieros dada su capacidad al momento de analizar gran cantidad de datos. Por otro lado, los algoritmos de aprendizaje autónomo representan ciertas ventajas con respecto a la implementación en el estudio de los mercados de valores, esto al momento de valorar el precio de los instrumentos financieros, comportamiento del precio en el tiempo, el análisis de la volatilidad en el mercado, el análisis del riesgo de inversión, el estudio de los diferentes derivados financieros, entre otros estudios.

Según Almeida et al. (2022) proponen la implementación de modelos de aprendizaje autónomo en específico redes neuronales para mejorar la precisión y adaptabilidad de la predicción de los precios de las opciones financieras, en su estudio consideraron modelos tradicionales como Black Scholes y modelos no tradicionales como: Black-Scholes ad hoc, el “modelo Heston” y el “modelo Carr & Wu”, los cuales se caracterizan por ser no paramétricos, es decir por un lado el modelo tradicional plantea se caracteriza por ser paramétrico esto influye en la adaptabilidad al modelo con respecto a la volatilidad implícita en los mercados financieros. De la misma manera Shuaiqiang (2019) proponen la utilización de redes neuronales artificiales para la determinación del precio de las opciones financieras y a su vez la determinación de la volatilidad implícita del modelo de valoración Black Scholes.

Según Polamuri, Srinivasi y Mohan (2019) el algoritmo “random forest” o bosque aleatorio presenta ciertas ventajas al momento de su utilización en modelos matemáticos financieros, debido a su modo de operación con los datos. En relación con la investigación los autores utilizan algoritmos como: random forest, arboles de decisión, redes neuronales

y Vectores con la finalidad de estimar el comportamiento de los activos de mercado bursátil y a su vez proyectar los precios de los activos a futuro. Por lo tanto, de acuerdo a Albahooth (2023) los modelos de aprendizaje autónomo como vectores de regresión, arboles de decisión, redes neuronales y bosques aleatorios se han sabido adaptar de acuerdo a las demandas de análisis de los mercados bursátiles.

En el Ecuador según datos de la Bolsa de Valores de Guayaquil en los últimos la actividad bursátil ha incrementado, lo que significa que en su mayoría empresas con gran capacidad financiera y económica realizan actividades de financiamiento e inversión. Por otro lado, aún existe un gran número de empresas que recurren a métodos tradicionales de financiamiento e inversión lo que desemboca en una menor capacidad de resolución de los problemas financieros. Según Pérez, Rivas y Solís (2015) las pequeñas y medianas empresas padecen de problemas relacionadas al financiamiento de su deuda lo cual desemboca en el cierre de las mismas en el largo plazo.

En este contexto y según estudios realizados por Vásquez, Muñoz y Ortega (2020) el mercado de valores ecuatoriano y servido como alternativa para el financiamiento e inversión tanto del sector privado como también publico, a través de los diversos instrumentos de renta fija como variables, sin embargo, aún persiste un desconocimiento en temas de inversión en instrumentos debido a la falta de información. Según Cadena, Pinargote y Solórzano (2020) el mercado bursátil ecuatoriano se presenta como una alternativa para el desarrollo económico del país, dado que al encontrarse en vías de desarrollo la inversión tanto interna como externa puede facilitar el crecimiento y consolidación de las distintas actividades económicas llevadas a cabo en el contexto del país.

De esta manera considerar al mercado de valores ecuatoriano como una alternativa para el desarrollo de las actividades económicas del país, representa una ventaja a nivel financiero, pues de cierta manera los mercados bursátiles ofrecen ventajas a los inversores a través de los instrumentos. Por otro lado, la diversificación de instrumentos financieros en el mercado de valores ecuatoriano se conseguirá a través del incremento de la inversión privada y sobre todo de la confianza de los inversores o demanda por parte de los mismos. Sin embargo, para Fernández (2019) el mercado bursátil del Ecuador aun presenta ciertas desventajas y fallos, lo cual en el mediano plazo se presentaría como una barrera para el desarrollo del mismo.

Según Magner y Lavín (2012) los derivados financieros, en específico las opciones pueden ser utilizadas como herramientas de cobertura para el riesgo presente en los

mercados bursátiles. En su artículo plantean la utilización de opciones de compra (call) y opciones de venta (put) para la cobertura del riesgo ante la fluctuación de los precios de productos agrícolas, commodities y materias primas. Ante esto según el modelo de estudio planteado para el análisis respecto a la utilización de las opciones financieras como cobertura de riesgo concluyeron que es beneficioso para las empresas en especial de agroindustria su participación en mercados bursátiles con la inversión en derivados financieros como opciones para la cobertura de riesgo ante la fluctuación de los precios de productos agrícolas, commodities y materias primas.

Por último, de acuerdo a los autores Pinilla y Martínez (2020) la diversificación de las fuentes de financiamiento por parte de las empresas depende de la evolución en el manejo de información y la implementación de nuevas estrategias. El financiamiento a través de derivados financieros es posible en mercados de capitales latinoamericanos, sin embargo, es necesaria la implementación de nuevas estrategias para el manejo de la información respecto al funcionamiento de los mercados y la adopción de nuevas tecnologías por parte de los inversores.

### **3. Metodología**

En función al tipo de investigación la metodología utilizada es de tipo cuantitativa que se divide de acuerdo a los objetivos específicos planteados. En primera instancia se realizó un análisis descriptivo del mercado de valores del Ecuador en donde se llevan a cabo actividades de inversión, compra/venta y financiación a través de los diversos instrumentos financieros utilizados tanto por sector público y privado del Ecuador para el periodo de análisis de 2013 a 2023, en ese sentido dentro del análisis descriptivo se consideran variables como el monto negociado de renta fija y variable, el monto total anual, el PIB anual, porcentaje de empresas de cada sector económico con participación en el mercado de valores y por último se considerara el indicador bursátil de “profundidad del mercado” o “tasa de capitalización bursátil”.

En ese sentido y de acuerdo a lo expresado por la Bolsa de Valores de Quito (2022) las variables como monto negociado total anual hace referencia al valor en miles de dólares respecto a las actividades con relación a instrumentos de renta fija y variable dentro del periodo de análisis planteado 2013 a 2023. De la misma al considerar el indicador de “profundidad del mercado de valores” económico/bursátil, el cual permita evaluar la influencia de las actividades bursátiles con respecto al desarrollo económico del país.

$$\text{Profundidad del mercado} = \frac{\text{Monto total negociado anual}}{\text{PIB anual}} \quad (1)$$

La ecuación 1 presenta el método para el cálculo del indicador de la profundidad del mercado de valores, en donde se consideran las variables como monto total negociado anual y el PIB anual expresados en miles de dólares. Así también se considera la evaluación de la participación del sector privado en las actividades de financiamiento e inversión en el mercado de valores ecuatoriano, esto a través de la determinación del número de empresas con participación actualmente y porcentaje de participación de acuerdo al sector económico. Estos datos fueron obtenidos de la página oficial de la bolsa de valores de Quito y Guayaquil, por consiguiente, se realizó un análisis descriptivo y comparativo de la evolución de las variables descritas anteriormente en el periodo de análisis mencionado y esto a su vez se complementó con la elaboración de tablas y graficas descriptivas.

En segundo lugar y de acuerdo a los objetivos específicos de la investigación se realizó el cálculo del precio de las opciones financieras aplicada a los precios del cacao por tonelada métrica entre el periodo de análisis propuesto de 2013 a 2024, posteriormente y de manera complementaria se realizó la implementación del algoritmo “redes neuronales” a la valoración de opciones financieras, partiendo del modelo clásico de valoración Black Scholes. Según Polamuri, Srinivas y Mohan (2019) los algoritmos “redes neuronales” y “random forest” presentan ciertas ventajas al momento de su utilización, debido a su modo de operación con los datos. Por otro lado, autores como Liu, W. Oosterlee, & M.Bohte (2019) considera que el modelo de redes neuronales artificiales son aproximadores de funciones universales proporcionando resultados de manera rápida y eficiente, además se demuestra que las redes neuronales artificiales reducen significativamente el tiempo de cálculo.

De esta y en relación con la investigación se aplicó el algoritmo de “redes neuronales artificiales” con la finalidad de estimar el precio de las opciones financieras, aplicado al precio de la tonelada métrica del cacao entre el periodo del 2013 a 2024. Cabe destacar que no existen datos históricos respecto a la evolución de los precios de las opciones financieras de esta manera se utilizó la ecuación Black Scholes para estimar tanto el precio de opciones de compra (call) y también de venta (put) a partir de los datos obtenidos de la evolución de los precios del cacao por tonelada métrica en el mercado

internacional, obtenidos a partir de la base de datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

$$C = S_0 N(d_1) - K e^{-rt} N(d_2) \quad (2)$$

En relación con la ecuación para el cálculo del precio de las opciones de compra (call) la cual se observa en la ecuación 2 donde se presentan las variables independientes tales como precio del activo subyacente, la volatilidad, el precio strike, el tiempo y la tasa libre de riesgo, las mismas se entrará a detalle posteriormente. En función a los objetivos de la investigación se estimó el precio de las opciones de compra para el caso de uno de los principales productos de exportación del Ecuador el cacao.

$$P = K e^{-rt} N(-d_2) - S_0 N(-d_1) \quad (3)$$

De la misma manera también se realizó el cálculo de las opciones de venta (put) a través de los precios históricos del cacao mediante la ecuación 3. Cabe mencionar que la única diferencia que se encuentra entre las ecuaciones 2 y 3 es el orden de las variables para el cálculo del precio de la opción. A continuación, se explicará de manera detallada cada una de las variables del modelo Black Scholes.

### **3.1 Precio del activo subyacente ( $S_0$ )**

El precio del activo subyacente hace referencia a los precios de los activos a los cuales en base al modelo Black Scholes se tomará como referencia para el cálculo y estimación del precio de la opción de compra o venta. En el caso de la investigación se consideró como activo subyacente al producto de mayor relevancia en las exportaciones agrícolas del Ecuador el cual es el precio por tonelada métrica del cacao de exportación.

De esta manera se consideró la obtención de los precios diarios por tonelada métrica del cacao en el mercado internacional según el periodo de análisis anteriormente planteado de 2013 a 2024, la base de datos fue obtenida de la base de datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

Cabe destacar que dentro del modelo Black Scholes se considera que el precio del activo Subyacente ( $S_0$ ) sigue una distribución log-normal, esto con la finalidad de calcular los rendimientos logarítmicos y esto a su vez se convierte en una herramienta financiera para el análisis de las inversiones a corto plazo.

### 3.2 La volatilidad ( $\sigma$ )

Esta es una de las variables más importantes dentro del modelo de estimación pues representa la variación de los precios del activo subyacente, es decir también mantiene una relación de dependencia con respecto al precio del activo. Para el cálculo y estimación según el modelo Black Scholes se considera dos métodos convencionales de estimación a través de la volatilidad implícita y la volatilidad histórica. Según el caso de estudio de la investigación se procederá con la consideración del cálculo de la volatilidad histórica para la determinación de la variable.

Considerando que la volatilidad en este caso es la variación de los precios diarios del cacao por tonelada métrica y que sigue una distribución log-normal, entonces se procede de la siguiente manera:

- **Estimación de los rendimientos logarítmicos**, ya que como se mencionó ( $S_0$ ) sigue una distribución log-normal.

$$r_t = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right) \quad (4)$$

- **Estimación de la desviación estándar**, una vez estimados los rendimientos logarítmicos a través de la ecuación 4 se procede con la estimación de la desviación estándar.

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sum(r_t - \bar{r})^2}{n-2}} \quad (5)$$

- **Volatilidad anualizada**, una vez calculada la desviación estándar de los rendimientos logarítmicos del activo subyacente se debe anualizar considerando los períodos en un año. Considerando la base de datos utilizada se debe anualizar considerando el tiempo de referencia del activo subyacente que en este caso es diario.

$$\sigma = \sigma_d \sqrt{252} \quad (6)$$

### 3.3 El tiempo hasta el vencimiento ( $t$ )

El tiempo ( $t$ ) hace referencia a la fecha de vencimiento de las opciones financieras que según el objetivo del estudio se considera la naturaleza de las opciones financieras de tipo europeas. De esta manera se pueden distinguir 3 diferentes fechas de vencimiento comúnmente utilizadas.

- De larga duración: es decir son fechas de vencimiento que superan un año o incluso se puede aplicar en ciertos casos para dos años.
- Según periodos de ejercicio bursátil: en este caso se refiere a periodos comunes como trimestralmente o semestralmente.
- De corta duración: se refiere a periodos cortos menores a 30 días, puede ser de 1 día, una semana o un mes.

Para el caso del estudio se consideró un periodo de vencimiento de 1 año para el caso del cálculo de las opciones de compra y de 3 meses para el caso de las opciones de venta.

### **3.4 La tasa de interés libre de riesgo ( $r$ )**

La tasa de interés libre de riesgo se asume como constante hasta la fecha de vencimiento de la opción y además permite evaluar el costo de oportunidad de invertir en un activo riesgoso o volátil. Además, se utiliza para descontar los flujos futuros del modelo. En ese sentido normalmente se utilizan las tasas de interés nominales de los bonos estadounidenses o de bonos con bajo riesgo de impago, posteriormente se debe hacer la conversión a una tasa continua.

$$r_c = \ln(1 + r_{nominal}) \quad (7)$$

En el caso de la investigación se utilizó los valores de las tasas de interés de los bonos del tesoro de Estados Unidos para 1 año y 3 meses.

### **3.5 El precio de ejercicio o strike ( $K$ )**

Hace referencia al precio de ejercicio de compra o venta del activo al finalizar el periodo de vencimiento de la opción financiera. Esta variable de cierta manera es fundamental dentro del modelo, sin embargo, no existe un método de fijación adecuado, sin embargo, se han desarrollado diversas estrategias de fijación en función a la toma de decisiones de los inversores.

- Conservadora
- Equilibrada
- Agresiva

Cabe mencionar que el precio strike influirá de manera significativa en el precio de la opción sea de compra o venta. Para caso del estudio, se optó por una estrategia equilibrada para la fijación del strike en el caso de la opción de compra y una estrategia conservadora para el caso de la opción de venta.

### 3.6 Función de distribución normal estándar acumulada $N(d)$

Hace referencia a la distribución estándar acumulada de una variable normal, partiendo del supuesto donde la media es igual a cero y la desviación estándar es igual a 1. En ese sentido se obtienen los valores de  $d_1$  y  $d_2$ .

$$d_1 = \frac{\ln \ln \left( \frac{S_0}{X} \right) + \left( r + \frac{\sigma^2}{2} \right) t}{\sigma \sqrt{t}} \quad (8)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{t} \quad (9)$$

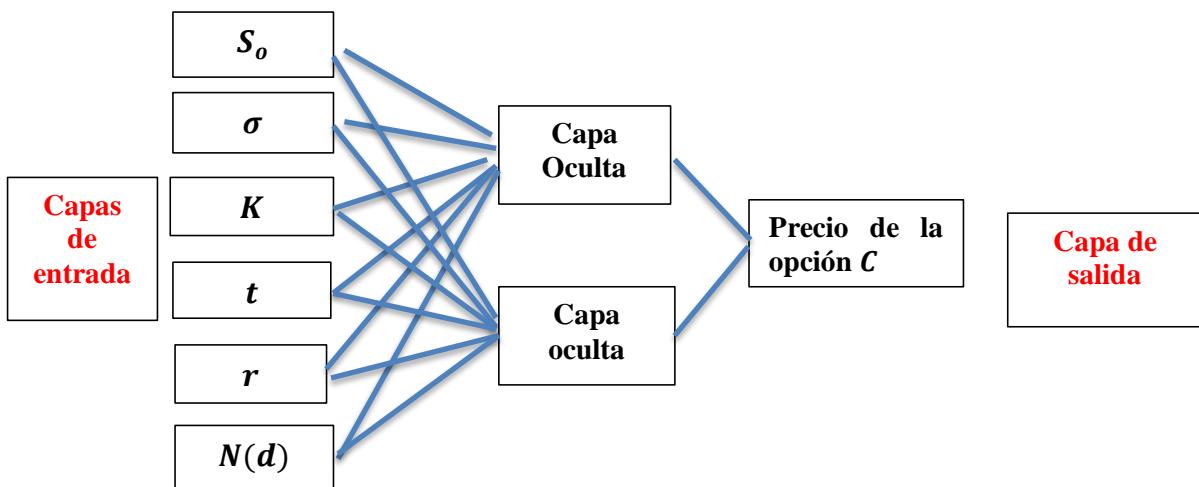
Los valores de  $d_1$  y  $d_2$  son variables logarítmicas que representan probabilidad dentro de la interpretación del modelo Black Scholes, de esta manera:

- $d_1$ , es la probabilidad ajustada al riesgo de que la opción termine con ganancias.
- $d_2$ , es la probabilidad de que el precio final del activo subyacente sea mayor al precio de ejercicio.

Una vez explicado el modelo Black Scholes sus variables y la interpretación de cada una se procede con la estimación de los precios de las opciones de las opciones de compra (call) y venta (put) considerando al activo subyacente el precio diario de la tonelada métrica del cacao ecuatoriano en el mercado internacional. Por otro lado, y continuando con el segundo objetivo específico de la investigación se procede a desarrollar el modelo de redes neuronales artificiales para la estimación de los precios de las opciones financieras.

**Figura 1**

Diagrama de la red neuronal artificial para la estimación del precio de la opción.



En relación con la Figura 1 en donde se puede observar el diagrama de la estructura de la red neuronal artificial a utilizar para el caso de la investigación, cabe destacar que una red neuronal se caracteriza por poseer capas de entrada que hace referencia a las variables independientes del modelo, por otro lado, las capas ocultas donde se realizan los procesos de cálculo y estimación y por último la capa de salida la cual arroja el valor final. Para la realización del modelo de redes neuronales se consideraron los siguientes puntos a desarrollar:

### **3.7 Análisis y depuración de la base de datos.**

En este punto se consideró el análisis de la base de datos obtenida respecto a los precios diarios de la tonelada métrica del cacao y la limpieza o depuración. La cual consiste en el procesamiento de la base de datos, eliminación de valores nulos, corrección de los valores de la base de datos, así como también la numeración y conteo de los datos. Para este caso, se consideró el análisis a 3042 datos que van desde el año 2013 al año 2024 como anteriormente se había planteado.

Con respecto al entorno donde se realizará el análisis de los datos se consideró la utilización del programa Python, debido a su versatilidad y al sinnúmero de herramientas que ofrece para el trabajo con redes neuronales. Además, varios autores consideran este programa como primera opción.

### **3.8 Normalización y preparación de datos para el modelo.**

Para este punto la base de datos ya se encuentra depurada y lista, por lo que el siguiente paso es normalizar las variables y así prepararlas para trabajar con el modelo. En este caso se realizaron las siguientes estandarizaciones:

- Los valores del precio del activo subyacente  $S_0$  y el precio de ejercicio o strike  $K$  tienen que estar en una sola medida (miles de dólares).
- El tiempo debe estar expresado en días, esto debido a que el precio del activo se mide en días.
- Los valores en general deben tener no más de 2 decimales.

### **3.9 Implementación de una red neuronal artificial (RNA).**

En este caso una vez normalizados los datos y con la base de datos lista se procesa con la realización y diseño de la arquitectura de la red neuronal artificial. Al observar la Figura

1 se puede considerar la estructura de las redes neuronales a trabajar, en ese sentido se consideran ciertos puntos importantes como:

- Numero de capas de entrada.
- Numero de capas ocultas.
- La función de activación
- Las métricas de rendimiento.
- Los resultados obtenidos del modelo de redes neuronales artificiales.

### **3.10 Configuración de capas ocultas, activaciones y optimizador según desempeño del conjunto de datos.**

Considerando el objetivo de estudio el cual es la estimación del precio de las opciones y tomando en cuenta el diagrama de las redes neuronales, se implementa lo siguiente 6 capas de entrada que abarcaran las variables tiempo (t), tasa libre de riesgo (r), volatilidad ( $\sigma$ ), el precio strike (k), precio de activo subyacente (So) y la distribución normal acumulada [N(d)].

En el caso de estudio de las capas ocultas, de acuerdo a la bibliografía revisada y a los distintos procesos de evaluación se determinó que el número de capas ocultas a utilizar es igual a 128,64 esto debido al número de datos y al grado de efectividad que se desea obtener con el modelo en la estimación del precio de la opción. Por último, se considera una capa de salida la cual es el precio de la opción financiera (C), cabe destacar que se elaboraron 2 modelos dado que se desea estimar el precio de la opción de compra (call) y de venta (put).

En relación a los parámetros a considerar del algoritmo, la función de activación del modelo es la función (ReLU) pues se pretende que el modelo de redes neuronales artificiales estime el precio de una opción financiera es decir un valor numérico, por lo cual esto también se especifica en el desarrollo del modelo.

### **3.11 Entrenamiento del modelo**

En este punto es donde se entrena el modelo con toda la información respecto a los datos, las variables, sus métricas y los parámetros. Esto con la finalidad de que el modelo de redes neuronales artificiales comience a procesar la información respecto al base de datos y con esto posteriormente realizar la estimación del precio de las opciones.

En este punto es donde se realiza un proceso denominado remuestreo a nivel del entrenamiento con la finalidad de mejorar, estimar o evaluar el modelo con el que se está trabajando. Para el caso de estudio se utilizó la función de “loss function” con la finalidad de asignar un peso mayor a los errores en la clase minoritaria.

Posteriormente se evaluaron las métricas de rendimiento que representan los resultados del entrenamiento del modelo.

### **3.12 Generación de métricas de rendimiento (MSE, RMSE, R<sup>2</sup>) y estimación de la variable respuesta del modelo.**

Con el objetivo de comprobar el correcto entrenamiento del modelo se procede con la evaluación de las métricas de rendimiento, las cuales son:

- **Error cuadrático medio (MSE):** es un valor decimal entre 0 y 1 que mide cuánto se alejan las predicciones del valor real, es decir una vez entrenado el modelo sirve para evaluar que tan asertivo es el modelo para estimar el precio de las opciones.
- **Raíz del error cuadrático medio (RMSE):** este valor evalúa a los valores residuales con respecto a la línea de regresión, es decir indica el nivel de concentración de los datos en la línea de mejor ajuste.
- **Coeficiente de determinación R<sup>2</sup>:** explica qué porción de la variabilidad de los datos está explicada por el modelo, es decir evalúa el nivel de predicción de las redes neuronales artificiales.

Por último, una vez evaluado el entrenamiento del modelo y su efectividad en el cálculo de los valores de los precios de las opciones financieras se procede con la estimación de “C” tanto para el caso de las opciones de compra (call) y de venta (put) y posteriormente su comparación con las estimaciones de los precios obtenidas a través de la fórmula Black Scholes.

Finalmente, en función al tercer objetivo específico se procede con una metodología documental la cual se basará en el análisis de artículos relacionados con el caso de estudio del artículo investigativo, que se obtendrán de fuentes de información secundarias. Por otro lado, también se considerarán los resultados obtenidos del análisis cuantitativo. En ese sentido se considera la posible implementación de opciones financieras con la finalidad de crear nuevas estrategias de inversión en el mercado financiero del Ecuador y de esta manera diversificar las fuentes de inversión y financiamiento para las empresas, esto según los resultados obtenidos de la revisión documental propuesta.

#### 4. Resultados

En función a los objetivos específicos planteados para el artículo investigativo y de la metodología desarrollada, se presentan los resultados donde en primera instancia se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo de las variables con respecto a las actividades financieras que se realizan por entidades económicas privadas y públicas en el mercado de valores del Ecuador.

**Tabla 1**

*Montos Negociados en renta variable y fija a Nivel Nacional para el periodo 2013 a 2023*

AÑOS	Renta Fija	Tasa %	Renta Variable	Tasa %	Total Nacional
2013	3.573.902	-1%	148.365	3%	3.722.267
2014	6.341.090	77%	1.203.048	711%	7.544.138
2015	4.969.257	-22%	77.666	-94%	5.046.923
2016	8.240.083	66%	96.386	24%	8.336.469
2017	6.574.386	-20%	42.475	-56%	6.616.861
2018	7.407.270	13%	67.512	59%	7.474.781
2019	11.701.937	58%	94.842	40%	11.796.779
2020	11.856.009	1%	31.812	-66%	11.887.820
2021	15.659.010	32%	42.576	34%	15.701.586
2022	13.408.642	-14%	43.000	1%	13.451.642
2023	13.221.763	-1%	94.858	121%	13.316.621

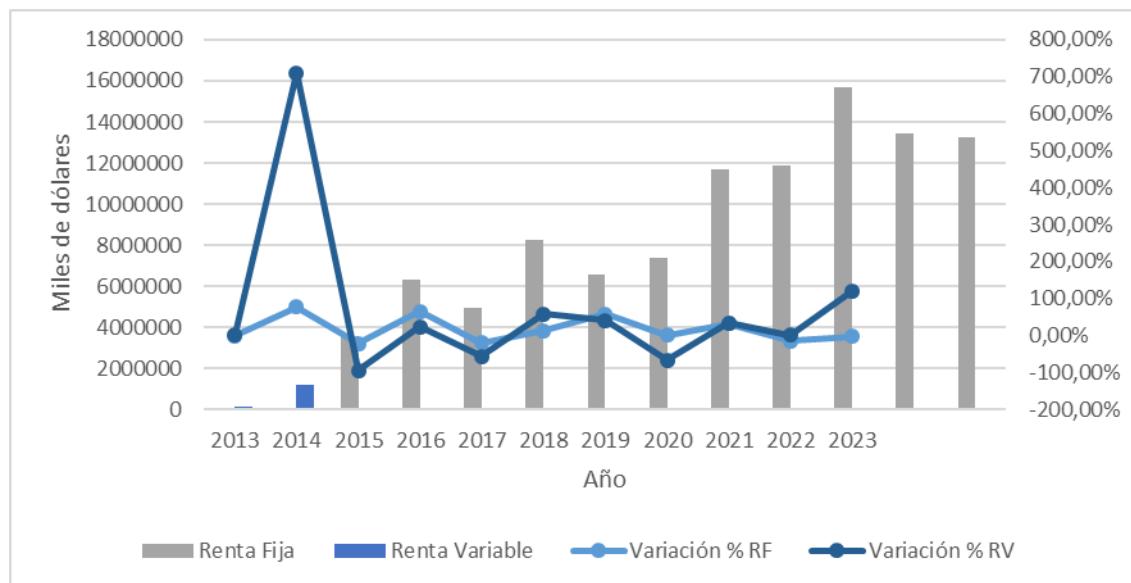
Según lo presentado en la Tabla 1 se puede observar los montos bursátiles en miles de dólares negociados anualmente en el mercado de valores ecuatoriano esto en base a los datos obtenidos de la Bolsa de Valores de Quito, por otro lado, también se estima la tasa de variación porcentual de los montos de renta variable y fija entre los años 2013 a 2023. De esta manera se estimó que la media del valor de inversión en renta fija es mayor a los 9 millones de dólares mientras que en el caso de la renta variable esta no es superior a los 100 mil dólares. Sin embargo, la tasa promedio de crecimiento con respecto a la inversión en renta fija es menor a la tasa de inversión en renta variable, esto debido a que en los últimos años los agentes inversores del mercado bursátil han preferido instrumentos de renta variable.

Por otro lado, se debe tener en consideración que las actividades que se llevan a cabo en el mercado de valores ecuatoriano se caracterizan por ser de renta fija en su mayoría y de renta variable, las cuales se diferencian por los diversos instrumentos financieros que ofrecen en ese sentido los más comunes en el mercado de valores del Ecuador son bonos, acciones, CETEs, Notas de crédito y débito, entre otros. Sin embargo, comúnmente en el

mercado de valores ecuatoriano se negocian bonos de deuda tanto públicos como privados y acciones de empresas que cotizan en bolsa.

**Figura 2**

*Valores Totales Negociados en Renta Fija y Variable, tasa de crecimiento anual*



En el Figura 2 se puede observar la evolución de los montos o valores negociados anualmente en el mercado de valores del Ecuador, en donde claramente se puede observar una gran diferencia entre los instrumentos de renta fija y variable. Esto como se explicó anteriormente los agentes inversores prefieren optar por instrumentos de renta fija como bonos de deuda públicos o privados, CETEs, entre otros. Sin embargo, como se mencionó con los valores de la Tabla 1, la tasa promedio de variación porcentual en renta variable es más cambiante como se observa en el gráfico, mientras que la tasa de variación porcentual de renta fija se observa que se mantiene constante en el periodo de análisis.

**Tabla 2**

*PIB anual del Ecuador, Montos totales negociados y el indicador de profundidad bursátil*

AÑOS	Monto bursátil negociado	PIB	Profundidad del mercado
2013	3.721	95.130	0,039
2014	7.544	101.726	0,074
2015	5.047	99.290	0,051
2016	8.336	99.938	0,083
2017	6.617	104.296	0,063
2018	7.475	107.562	0,069
2019	11.797	108.108	0,110
2020	11.888	98.808	0,120
2021	15.702	106.166	0,148
2022	13.452	115.049	0,117
2023	13.317	119.573	0,111

En la Tabla 2 se presentan variables como al indicador macroeconómico PIB el cual hace referencia al valor total de los bienes y servicios producidos en el Ecuador anualmente, por otro lado, también se encuentra el total negociado de renta fija y variable a nivel nacional. En ese sentido y de acuerdo a la metodología en donde según la ecuación 1 la cual permite calcular el indicador bursátil de la profundidad o capitalización, el cual pretende analizar la influencia y representatividad del mercado de valores en la productividad económica del país. En base a esto la tasa de capitalización bursátil en promedio para el periodo 2013 a 2023 es menor a 0,5 pero mayor a 0, lo que indica que la capitalización bursátil en la actividad económica del país es poco significativa y representativa.

### Figura 3

*Capitalización bursátil en el Ecuador para el periodo 2013 a 2023*



En la Figura 3 se puede observar la evolución de la tasa de capitalización bursátil, la cual según los resultados descriptivos obtenidos ha determinado que para el periodo de análisis planteado esta ha sido menor a 0,5 es decir la influencia del mercado bursátil en la actividades económicas del país ha sido poco significativa, esto debido a que tanto el mercado bursátil nacional como las actividades que se llevan a cabo en este cono los diferentes instrumentos son poco conocidos por los inversores, lo cual no incentiva su participación.

De esta manera se procede con análisis de la segunda parte de los resultados en función a los objetivos específicos planteados, en ese sentido se realiza un análisis descriptivo del activo subyacente a considerar en el estudio el precio del cacao por tonelada métrica y posteriormente se analiza el modelo Black Scholes, sus variables, el modelo de redes neuronales artificiales para la estimación del precio de las opciones.

**Tabla 3**

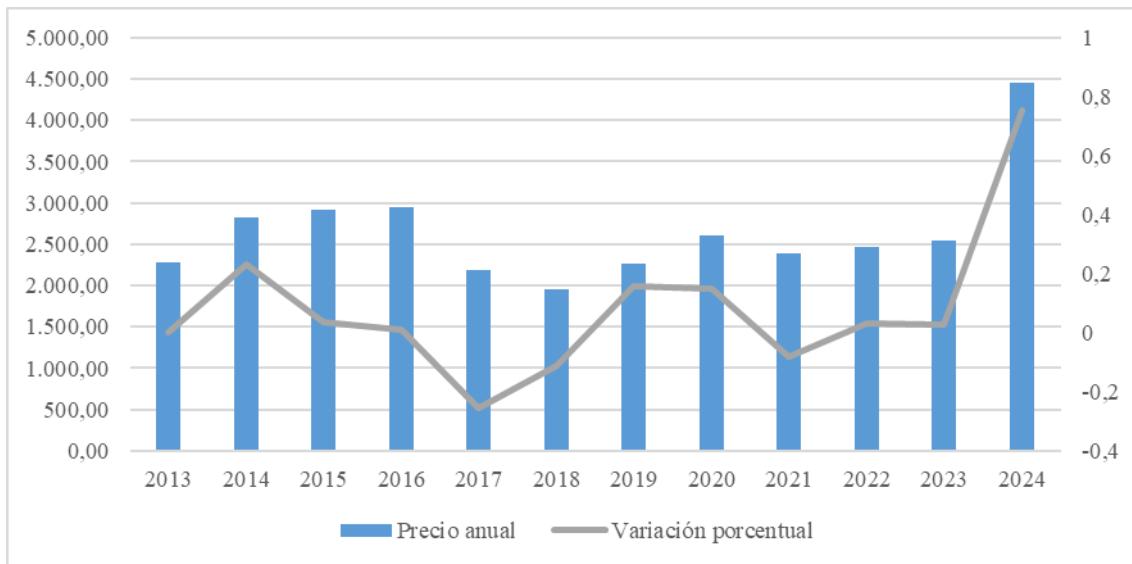
*Valores del precio internacional del cacao en dólares por tonelada*

<b>Año</b>	<b>Precio</b>	<b>Variación %</b>
2013	2.285,65	57,49%
2014	2.819,43	23,35%
2015	2.921,05	3,60%
2016	2.952,42	1,07%
2017	2.195,06	-25,65%
2018	1.951,97	-11,07%
2019	2.263,34	15,95%
2020	2.603,07	15,01%
2021	2.391,41	-8,13%
2022	2.467,36	3,18%
2023	2.540,99	2,98%
2024	4.452,60	75,23%

En este caso se realiza un análisis descriptivo de la variable dependiente activo subyacente que para el caso del estudio se consideró el precio del cacao por tonelada métrica, sin embargo, en este caso se consideró el precio promedio anual debido a que la base de datos a analizar es de una muestra de un total de 3042, de esta manera de acuerdo a los datos de la Tabla 3 se observa que la variación porcentual anual del precio del cacao es medianamente variables, pues según la variación porcentual promedio es cercana al 13%.

**Figura 4**

*Precios del cacao y su variación porcentual entre los años 2013 a 2024*



Como se observa en la Figura 4 se presentan los precios anuales del cacao además de su variación porcentual, sin embargo, como se describió anteriormente la variación porcentual anual del precio es mediana, por otro lado, a partir del año 2019 a 2024 se evidencia una tendencia de crecimiento del precio del cacao a comparación de los otros años.

Una vez analizada la variable dependiente del modelo Black Scholes precio del activo subyacente, se procede con la determinación de las variables independientes del modelo y la explicación respecto a su estimación según lo planteado en la metodología en las ecuaciones (1) y (2).

**Tabla 4**

*Valores de las variables independientes del modelo Black Scholes*

Variables del modelo	Modelo Opción de compra "call"	Modelo Opción de venta "put"
Tiempo (t)	1	0,25
Volatilidad ( $\sigma$ )	0,28	0,28
Tasa libre de riesgo (r)	3,60%	3,76%
Precio Strike (K)	Valor de So	10% del valor de So
N (d1)	60,59%	70,56%
N (d2)	50,44%	75,30%

Según la metodología planteada anteriormente para la estimación del precio de las opciones de compra y venta con el modelo de redes neuronales es necesario el cálculo del precio de la opción por medio de las formulas (1) y (2) descritas en la metodología. En

ese sentido en la Tabla 1 se puede observar algunas de las variables del modelo Black Scholes sus valores y determinantes.

- En el caso del tiempo ( $t$ ), se utilizó la referencia de un año de vencimiento y 3 meses posteriormente se expresó en la unidad del precio del activo subyacente.
- Respecto a la volatilidad ( $\sigma$ ), se consideró la volatilidad histórica la cual se obtuvo de los rendimientos logarítmicos y su posterior anualización, esto según las ecuaciones (4), (5) y (6).
- Para la tasa libre de riesgo ( $r$ ), se consideró la tasa de interés de los bonos del tesoro de Estados Unidos para 1 año y 3 meses, luego se transformó a continua a través de la ecuación (7).
- El precio de ejercicio ( $K$ ), se fijó por medio de estrategias respecto a la inversión en derivados como las opciones financieras donde para el caso del cálculo de las opciones de compra se consideró el precio  $S_0$ , mientras que para las opciones de venta se consideró aumentar un 10% al precio  $S_0$ .
- Con respecto a  $N(d_1)$ , los valores representan que en el caso de las opciones de compra existe un 61% de que la compra del activo se realice, mientras que para el caso de las opciones de venta existe un 71% de que la venta del activo se realice. De la misma manera para el caso de  $N(d_2)$ , existe una probabilidad del 51% de que el precio a la fecha de vencimiento del activo subyacente sea mayor al precio de ejercicio, mientras que para el caso de las opciones de venta existe 75%.

En el caso de los datos del activo subyacente estos son el precio del cacao diario por tonelada métrica entre los años 2013 a 2024 sin embargo esos pueden ser verificado en el Anexo 1, al igual que los precios de la opción de compra “call” y venta “put”.

## **Anexo 1**

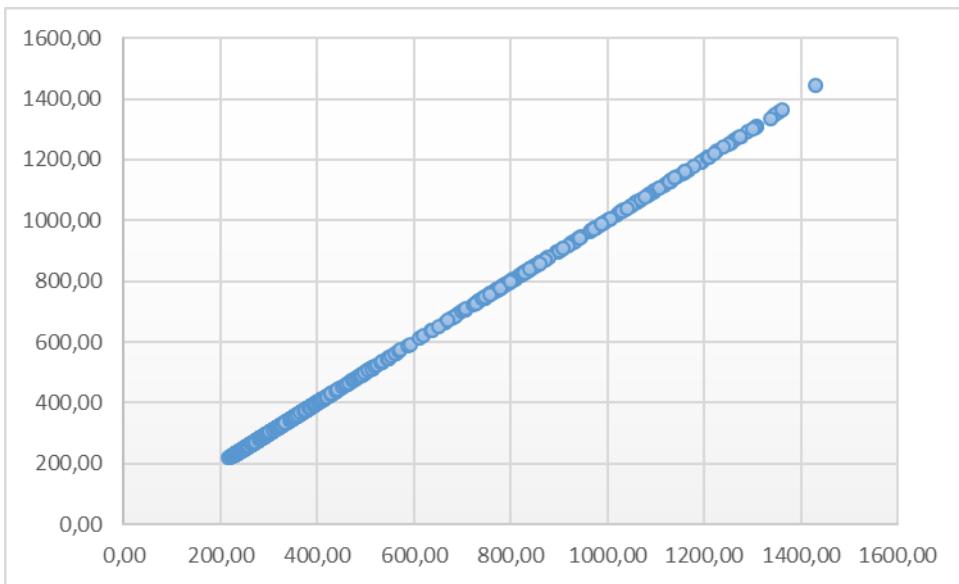
*Base de datos completa con las variables del modelo y sus respectivas estimaciones*

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/1bygqaBwwN6EnqkmNr5zz9o0g3N0r33e /edit?usp=sharing&ouid=114851437246062157440&rtpof=true&sd=true](https://docs.google.com/spreadsheets/d/1bygqaBwwN6EnqkmNr5zz9o0g3N0r33e/edit?usp=sharing&ouid=114851437246062157440&rtpof=true&sd=true)

Una vez calculado el precio de las opciones de compra y venta se procede con el desarrollo del modelo de redes neuronales artificiales que como se detalló en la metodología se tiene que seguir algunos pasos como la estandarización y normalización de los datos, entrenamiento del modelo de aprendizaje, entre otros.

## **Figura 5**

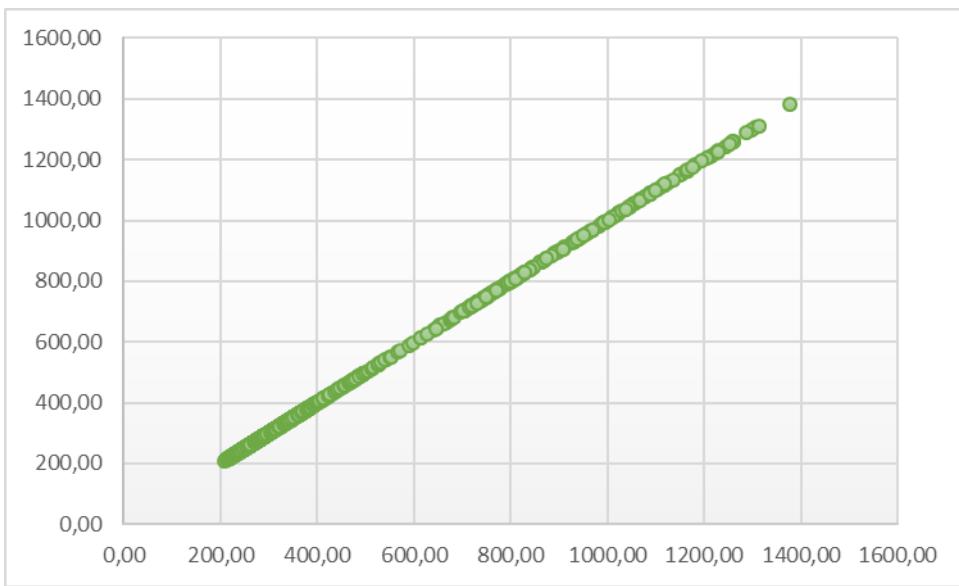
*Gráfica de dispersión entre valores reales y estimados del precio de la opción “call”*



En función a la Figura 5 en donde se comparan los valores estimados por el modelo de redes neuronales, con respecto a los valores del precio de las opciones de compra. En este caso se observa como los valores estimados por el modelo de redes neuronales artificiales se encuentran muy aproximados a los valores reales. Cabe destacar que esto pertenece a los valores estimados por el entrenamiento del modelo.

**Figura 6**

*Gráfico de dispersión entre valores reales y estimados del precio de la opción “put”*



En la Figura 6 se comparan los valores reales de los precios de las opciones put, con respecto a los valores estimados durante el entrenamiento del modelo, al igual que en el caso anterior los valores estimados se aproximan de manera significativa a los valores

reales, esto se puede comprobar con las métricas de rendimiento o validacion de proceso de entrenamiento.

**Tabla 5**

*Valores de las metricas de rendimiento del modelo de redes neuronales artificiales para las opciones "call y put"*

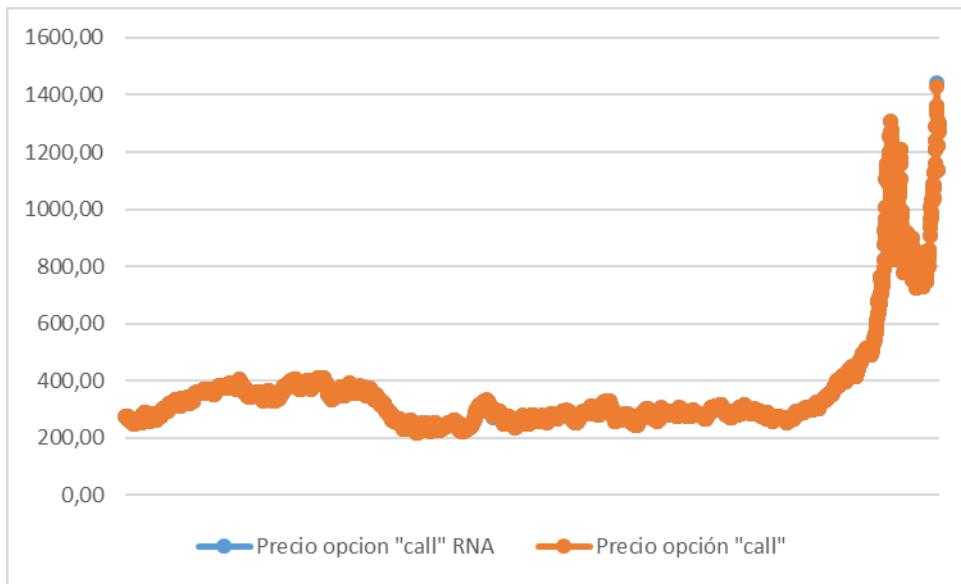
Métricas	Modelo Opciones "call"	Modelo Opciones "put"
<b>MSE</b>	0,2574	0,02511
<b>RMSE</b>	0,5074	0,1584
<b>R<sup>2</sup></b>	0,9999	0,9999

En la tabla 5 se pueden observar las métricas de rendimiento de los modelos de redes neuronales para la estimación y cálculo del precio de las opciones de compra y venta. De esta manera se puede destacar lo siguiente:

- En el caso del MSE error cuadrático medio, para el modelo de predicción del precio de las opciones de compra es 0,26 es decir menor a 0,5 por lo que los valores predichos no se alejan de los valores reales. Por otro lado, para el modelo de las opciones de venta el valor es 0,02 lo cual expresa que el modelo se aproxima a ser óptimo.
- Para la RMSE la raíz del error cuadrático medio, expresa que para el modelo de las opciones de compra el valor es 0,5 es decir la desviación estándar de los residuos es considerable, por lo tanto, el modelo se equivoca en 0,5 dólares al momento de predecir el precio de la opción de compra. Para el caso del modelo de las opciones de venta es 0,16 es decir la desviación estándar de los residuos es baja, por lo tanto, el modelo se equivoca en 0,16 dólares al momento de predecir el precio de la opción de venta.
- En el caso del R<sup>2</sup>, para ambos modelos es cercano a uno, es decir las predicciones que realiza el modelo son casi perfectas.

**Figura 7**

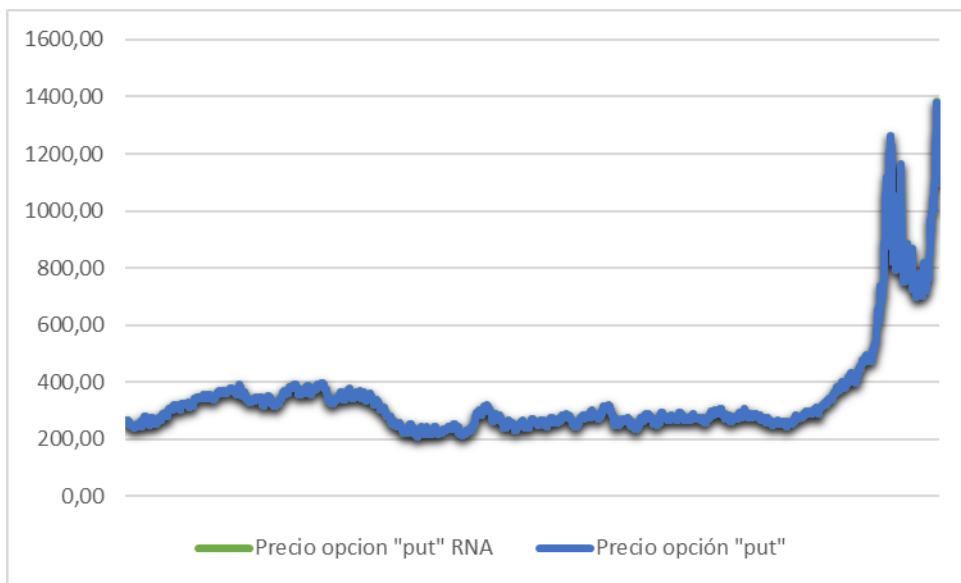
*Gráfico de comparación entre los valores reales del precio de la opción de compra y el estimado por RNA*



De acuerdo a la Figura 7 se puede constatar lo expresado por las métricas de validación, como resultado se obtiene que el modelo de redes neuronales artificiales es adecuado para la predicción y cálculo de los precios de las opciones de compra.

**Figura 8**

*Gráfico de comparación entre los valores reales del precio de la opción de compra y el estimado por RNA*



De acuerdo a la Figura 8 se puede constatar lo expresado por las métricas de validación, como resultado se obtiene que el modelo de redes neuronales artificiales es adecuado para la predicción y cálculo de los precios de las opciones de venta.

Por último, considerando el tercer objetivo específico planteado en donde se pretende implementar a las opciones financieras como medios para la inversión empresarial en el

Ecuador, cabe destacar que en base a los resultados obtenidos y a la revisión bibliográfica realizada respecto al tema se obtienen lo siguiente.

De acuerdo a los resultados del modelo de redes neuronales para la estimación del precio de las opciones de venta y compra, se puede determinar que los modelos de machine learning son fundamentales en el análisis de modelos financieros bursátiles, al igual que pueden convertirse en una herramienta muy útil para los inversores al momento de realizar sus actividades en mercados financieros.

### Tabla 6

*Tabla de estrategias para la inversión en opciones de compra y venta considerando el precio de ejercicio (K)*

Tipo	Strike	Costo	Probabilidad de Ejercicio	Perfil de riesgo
Opción call	Menos a So	Alta	Alta	Conservadora
Opción call	Igual a So	Media	Media	Equilibrada
Opción call	Mayor a So	Baja	Baja	Agresiva
Opción put	Mayor a So	Alta	Alta	Conservadora
Opción put	Igual a So	Media	Media	Equilibrada
Opción put	Menos a So	Baja	Baja	Cobertura parcial

En la Tabla 6 se muestran estrategias de inversión en opciones de compra y venta considerando el establecimiento del precio de ejercicio (K). Considerando que las opciones de compra son derechos que se adquieren con la finalidad funcionar como cobertura ante el riesgo de los cambios de precios, en el caso del estudio es del cacao, que según los resultados obtenidos del modelo de proyección y los resultados de la revisión bibliográfica se pudieron plantear como un método para el financiamiento e inversión de empresas agro productoras e industriales en un periodo de largo plazo. Cabe destacar que este método de financiamiento e inversión conlleva un proceso meticuloso de análisis de datos.

Cabe destacar que las opciones financieras pueden servir como cobertura ante la volatilidad de los precios para las empresas no solamente para los inversores, dado que como se describió en la Tabla 6 existen diferentes estrategias de cobertura que se pueden llevar a cabo considerando las dos partes de la actividad, el que vende la opción financiera y el que la adquiere con la finalidad de adquirir beneficios.

## 5. Discusión

El análisis de las opciones financieras sobre el precio del cacao de Ecuador es de particular relevancia, considerando la importancia estratégica de este producto en la economía nacional y su vulnerabilidad a las fluctuaciones del mercado global. A lo largo de este estudio, se exploraron diversas estrategias financieras, como la cobertura de riesgo de los precios, beneficio financiero a través del aprovechamiento de la fluctuación de los precios y otras estrategias adicionales, que permiten a los productores y comercializadores de cacao gestionar el riesgo asociado a la volatilidad de los precios y de esta manera beneficiarse de otras formas de financiamiento a través del mercado de valores ecuatoriano. De acuerdo a Cadena, Pinargote y Solórzano (2020) y según los resultados obtenidos sugieren que, aunque estas herramientas financieras ofrecen un alto potencial de mitigación de riesgos, su implementación efectiva sigue enfrentando varios desafíos en el contexto ecuatoriano, ya que la actividad bursátil del país aún se encuentra en crecimiento, sin embargo, con los constantes avances tecnológicos se pueden implementar nuevas herramientas en el contexto financiero y económico.

Por otro lado, las opciones financieras, como las opciones de compra y de venta, aparecen como instrumentos más flexibles, permitiendo a los participantes del mercado aprovechar la volatilidad de los precios sin la obligación de ejecutar la transacción. Sin embargo, la investigación también señala que la falta de familiaridad con estos productos derivados y la percepción de complejidad en su uso han impedido su adopción generalizada entre los pequeños y medianos productores ecuatorianos. En base a lo expuesto por Magner y Lavín (2012) respecto a la implementación de las opciones como cobertura de la volatilidad de los precios donde subrayan una brecha significativa entre el potencial teórico de las opciones financieras y su aplicación práctica en el contexto local.

Adicionalmente, el estudio sugiere que la volatilidad en los precios del cacao no solo está influenciada por factores económicos globales, como la oferta y demanda en los mercados internacionales, sino también por factores internos, como la inestabilidad política, las condiciones climáticas y los cambios en las políticas agrícolas del gobierno ecuatoriano. En este sentido, según lo planteado por Pinilla y Martínez (2020) respecto a la utilización de las opciones financieras como objeto de cobertura ante la volatilidad de los precios podrían tener un papel limitado si no se abordan estos factores subyacentes, los cuales son más difíciles de prever y controlar.

En comparación con otros estudios sobre mercados de commodities, como el café o el petróleo, se observa que el cacao ecuatoriano presenta particularidades que dificultan su integración a los mercados financieros globales. La estructura del mercado de cacao en Ecuador está compuesta principalmente por pequeños productores que carecen de la infraestructura necesaria para participar de manera eficiente en mercados financieros sofisticados. En este sentido, la propuesta de políticas públicas orientadas a fomentar la educación financiera, mejorar el acceso a servicios financieros y fortalecer la infraestructura de los mercados de futuros sería crucial para aprovechar el potencial de estas opciones financieras.

Cabe destacar la importancia de los modelos de predicción de los precios de activos como en el caso de este estudio la implementación de redes neuronales artificiales, dado que autores como Liu, W. Oosterlee, & M.Bohte (2019) utilizan modelos de redes neuronales artificiales y de aprendizaje profundo con la finalidad de estimar precios de activos a través del cálculo o estimación de la volatilidad explícita, es decir no consideran métodos de cálculo como la volatilidad histórica o implícita, lo que de cierta manera permite evaluar la volatilidad no solamente hasta la fecha de vencimiento del activo. Por otro lado, Iltuzer (2022) mencionan que los modelos de redes neuronales permiten un cálculo más preciso y rápido de los precios de los activos, pues esto según los resultados obtenidos se pudo comprobar la veracidad de la afirmación.

Finalmente, aunque las opciones financieras representan una herramienta útil para la gestión del riesgo, es necesario realizar un análisis más profundo sobre los efectos a largo plazo de su implementación, especialmente en cuanto a la sostenibilidad de los productores de cacao más vulnerables. Según Almeida et al. (2022) sugiere la implementación de modelos de aprendizaje autónomo en la valoración de derivados financieros, esto fundamenta el trabajo investigativo ya permite realizar futuras investigaciones que exploren el impacto de estas herramientas en la estabilidad económica de las zonas productoras de cacao y en la equidad de los beneficios obtenidos de su uso.

## **6. Conclusiones**

En función al objetivo principal de estudio de este artículo investigativo el cual es analizar la implementación de machine learning al modelo de valoración de opciones financieras Black Scholes y su implementación en el financiamiento empresarial, se puede sacar las

siguientes conclusiones. En primera instancia, de acuerdo al análisis descriptivo del mercado bursátil del Ecuador se puede destacar lo siguiente, actualmente en el país cotizan 302 empresas esto según datos de la Bolsa de valores de Quito, de las cuales más del 50% se encuentran en Guayaquil. Por otro lado, los principales sectores que cotizan en bolsa son: el comercial con un 30% de representatividad, de igual manera el sector industrial con un 22% y el sector agrícola, ganadero y pesquero con un 12% en promedio, de esta manera estos tres sectores económicos concentran más del 60% de total de participación en el mercado de valores ecuatoriano. En función al periodo de análisis que se consideró en la investigación de 2013 a 2023 se pudo obtener que la tasa de crecimiento de inversión en renta fija por parte del sector empresarial en el Ecuador tuvo una tasa de crecimiento promedio de 14%, sin embargo a comparación con el crecimiento de la inversión en renta variable el cual en promedio fue mayor al 50% en promedio según el periodo analizado se puede concluir que esta opción de inversión en los últimos años se ha vuelto atractiva para la inversión y financiamiento empresarial en el Ecuador.

En ese sentido también se puede concluir que los instrumentos de renta variable son una opción viable para el financiamiento empresarial a través de los mercados bursátiles, de esta manera y según uno de los objetivos específicos planteados en este artículo de investigación al implementar un modelo de redes neuronales artificiales al modelo de valoración de opciones financieras esto considerando los precios del cacao según el periodo de 2013 a 2024, se puede identificar que los modelos de machine learning son útiles al momento de realizar análisis, proyecciones y estimaciones de valores de instrumentos financieros de mercados bursátiles. Según los resultados obtenidos el modelo tuvo una efectividad mayor al 99,99% con respecto a la predicción de los valores de la variable respuesta precio de la opción, ya que se aplicó a la estimación de opciones de compra “call” y de venta “put” del cacao. De esta manera también se puede destacar la importancia de las distintas variables del modelo, en el caso de este estudio el precio strike (k) y el tiempo (t) fueron las más representativas e influyentes en la estimación del precio de las opciones financieras.

Por último, en relación con el financiamiento empresarial a través de la diversificación de los instrumentos financieros en el mercado de valores ecuatoriano y según los objetivos de este artículo de investigación se plantea una opción de utilizar las opciones financieras como instrumento de cobertura ante la volatilidad de los precios en el mercado. De esta manera es importante considerar que la implementación de derivados financieros como opciones en el financiamiento empresarial según diversos autores no influyen en el

crecimiento o el nivel de las utilidades de una empresa, sin embargo, los derivados financieros como las opciones pueden llegar a ser un instrumento de financiamiento para las empresas muy útil en función a las estrategias que se puedan implementar en el uso de estos derivados financieros.

## 7. Referencias

- Albahooth, B. (2023). Predicciones de los movimientos del precio del petróleo en el Reino de Arabia Saudita utilizando variables financieras y macroeconómicas. Sage Journals, 747-771. 10.1177/01445987231206897
- Almeida, C., Fan, J., Freire, G., & Tang, F. (2022). Can a Machine Correct Option Pricing Models?. *Journal of Business & Economic Statistics*, volume 41, issue 3. 10.1080/07350015.2022.2099871
- Andocilla, J. (2015). Mercado de derivados financieros en el Ecuador: ¿Es posible su implementación? FENOPINA online, Numero 89. [https://sga.unemi.edu.ec/media/evidenciasiv/1\\_1\\_108\\_ART.pdf](https://sga.unemi.edu.ec/media/evidenciasiv/1_1_108_ART.pdf)
- Arin, E., Ozbayoglu, A.M. (2022). Inteligencia computacional híbrida basada en aprendizaje profundo Modelos para la fijación de precios de opciones. *Comput Econ* 59, 39–58. <https://doi.org/10.1007/s10614-020-10063-9>
- Banco Bilbao Vizcaya Argentaria. (2024). ¿Para qué se usa el machine learning en la banca?. BBVA. <https://www.bbva.com/es/innovacion/machine-learning-para-que-se-usa-en-la-banca/>
- Banco Central del Ecuador. (2019). La economía ecuatoriana de 1999. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Memoria/1999/cap2.pdf>
- Banco Santander. (2020). ¿Qué son los derivados financieros y qué tipos existen?. <https://www.bancosantander.es/glosario/derivados-financieros>
- Bolsa de Valores de Guayaquil. (2019). Sector Público. Guayaquil: BVG. <https://www.bolsadevaloresguayaquil.com/productos/sectorpublico/SPEn17.pdf>

Bolsa de Valores de Quito. (2021). Emisores a Nivel Nacional. Quito: BVQ.  
<https://www.bolsadequito.com/index.php>

Bolsa de Valores Quito. (2024). El mercado de valores del Ecuador.  
<https://www.bolsadequito.com/index.php/estadisticas/infolab-bvq/informe-bursatil>

Borrero, D., & Bedoya, O. (2020). Predicción de riesgo crediticio en Colombia usando técnicas de inteligencia artificial. Revista UIS Ingenierías, vol. 19, núm. 4, 37-52.  
<https://doi.org/10.18273/revuin.v19n4-2020004>

Cadena, J., Pinargote, H. & Solórzano, K. (2020). Contribución del mercado bursátil al crecimiento y modernización de la economía Ecuatoriana. Revista Venezolana de Gerencia, 37-54. Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=29062641004>

Federación Brasileña de Bancos. (2017). Encuesta sobre tecnología Bancaria.  
<https://cmsarquivos.febraban.org.br/Arquivos/documentos/PDF/2017%20FEBRABAN%20Banking%20Technology%20Survey-.pdf>

Fernández, I. (2019). Influencia del mercado de valores en las empresas emisoras: Caso Ecuador. X-Pedientes Económicos, 37-54.  
[https://ojs.supercias.gob.ec/index.php/X-pedientes\\_Economicos/article/view/30](https://ojs.supercias.gob.ec/index.php/X-pedientes_Economicos/article/view/30)

Fernandez, J. C. (2021). Aproximación a la estructura espacial de las transacciones de derivados financieros en el mercado extrabursátil OTC. Estudios Geográficos, 82 (290), e066. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.202077.078>

Gonzales, J., & Nieto, J. (2016). El Mercado de Valores como fuente de financiamiento para las pequeñas y medianas empresas ecuatorianas. Revista Científica UISRAEL, Volumen N° 3. <https://doi.org/10.35290/rcui.v3n3.2016.4>

Guaigua, M., Mayorga, M., & Vildoso, J. (2020). BONOS VERDES UNA NUEVA FORMA DE INVERSIÓN EN EL MERCADO DE VALORES. Revista Universidad y Sociedad, 13(S1), 511-518.  
<https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2065>

Magner, N., & Lavín, J. (2012). ¿SON LOS DERIVADOS FINANCIEROS UNA HERRAMIENTA DE GESTIÓN DE RIESGO DE USO FRECUENTE EN LA INDUSTRIA DE AGRONEGOCIOS?. Academia. Revista Latinoamericana de

Nixon, P., & Gilbert, E. (2024). Uso del aprendizaje automático para predecir el comportamiento de cambio de los inversores. *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.jbef.2024.100992>

Oleaga, G. (2011). Sobre la ecuación de Black–Scholes. Bol. Mat. 18(1), 85–104.  
file:///C:/Users/Windows%2010/Downloads/Dialnet  
SobreLaEcuacionDeBlackScholes-6862213%20(1).pdf

Patrício, J., Silva, C., Lilibeth, K., & Aveiga, S. (2018). Mercado de valores y su contribución al crecimiento de la economía ecuatoriana. *Revista Venezolana de Gerencia*, 23(83), 563–578. <https://doi.org/10.31876/revista.v23i83.24480>

Perez, M. O., Rivera, H. A., & Solis, G. L. (2015). Análisis del Mercado de Valores Ecuatoriano como fuente de inversión para las PyMES / Analysis of Ecuadorian market values as a source of investments for small and medium-sized businesses. CIENCIA UNEMI, 8. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol8iss13.2015pp8-15p>

Pérez, O., Rivera, A., & Solís, L. (2015). Análisis del Mercado de Valores Ecuatoriano como fuente de inversión para las PyMES. Revista Ciencia UNEMI, 8-15. <http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/3058>

Pinilla, J., & Martínez, J. D. (2020). Efecto de los derivados financieros en el valor de las empresas latinoamericanas. *Contaduría y administración*, vol. 65, núm. 4, 1-23. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2020.2461>

Polamuri, S. R., Srinivasi, K., & Krishna Mohan, A. (2019). Predicción de precios del mercado de valores mediante regresión de árboles adicionales y bosque aleatorio. International Journal of Recent Technology and Engineering. 10.35940/ijrte.C4314.098319

Prado, P. S. (14 de Marzo de 2014). Alternativas De Financiamiento ¿Por Qué No Funciona La Bolsa De Valores en el Ecuador ? Período 2007 - 2012. Obtenido de Universidad Católica de Santiago de Guayaquil Facultad de Ciencias Económicas Y Administrativas, Carrera: Economía .Memorias para obtener el Título de

Economista.: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1432/1/T-UCSGPRE-ECO-CECO-13.pdf>

Rosero, L. (2010). El desarrollo del mercado de valores en el Ecuador: una aproximación. Ecuador Debate, 80, 23–34. <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/3490/1/RFLACSO-ED80-02-Rosero.pdf>

Superintendencia de Economía Popular y Solidaria. (2020). Mercado de Capitales Ecuatoriana. <https://www.seps.gob.ec/wp-content/uploads/Productos-mercado-valores.pdf>

Torres P, E., Hernández, M., Torres H, E., & Guun Yoo, S. (2019). Predicción de datos bursátiles mediante técnicas aprendizaje automático. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 918. Springer, Cham, 539-547. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-11890-7\\_52](https://doi.org/10.1007/978-3-030-11890-7_52)

Vásquez, F., Muñoz, H., & Ortega, W. (2020). El mercado de capitales y su impacto en la economía ecuatoriana en el período 2001-2019. *Sinergia*, 128-136. [https://doi.org/10.33936/eca\\_sinergia.v11i2.2000](https://doi.org/10.33936/eca_sinergia.v11i2.2000)