

VALORACIÓN DE UNA OPCIÓN DE COBERTURA AL RIESGO CLIMÁTICO DE LA PRODUCCIÓN DE ARROZ A PARTIR DEL MÉTODO DE BURN.¹
VALUATION OF A COVERAGE OPTION FOR CLIMATE RISK OF RICE PRODUCTION FROM THE BURN METHOD

José Isnardi Sastoque Rubio²
Luis Hernando Restrepo Sierra³

Resumen

El siguiente documento describe las bases fundamentales del cálculo estocástico aplicado a la valoración de opciones partiendo desde una contextualización histórica de los orígenes de los instrumentos financieros, pasando por la formalización matemática de los movimientos Browniano, método de Wiener y su relación con lema de Ito, como fuente de estimación del método de Black & Schole y las nuevas aplicaciones a través de las opciones climáticas contra riesgos adversos de condiciones meteorológicas extremas o moderadas; para lo cual finalmente se presenta una propuesta de cobertura para la producción de arroz en Colombia, identificando a través del modelo de producción de Cobb-Douglas la variable de mayor incidencia para la estimación de un índice a partir del cual se define el Strike de una posición Call y Put y su respectiva valoración tomando como referencia el índice de Grados de Calor Extremo (HDD) de la Bolsa Mercantil de Chicago (CME) con lo cual se definen las primas respectivas de valoración.

Palabras claves: Derivados, Subyacente, Opciones; Riesgo climático; cobertura.

Abstract

The following document describes the fundamental bases of the stochastic calculation applied to the valuation of options starting from a historical contextualization of the origins of the financial instruments, going through the mathematical formalization of the Brownian movements, Wiener's method and its relation with the Ito motto, as a source of estimation of the Black & Schole method and new applications through climate options against adverse risks of extreme or moderate weather conditions; for which finally a proposal of coverage for the production of rice in Colombia is presented, identifying through the Cobb-Douglas production model the variable of greater incidence for the estimation of an index from which the Strike of a Call and Put position and its respective valuation taking as reference the index of Extreme Heat Degrees (HDD) of the Mercantile Exchange of Chicago (CME) which defines the respective valuation premiums.

Keywords: Derivatives, Underlying, Options; Climate risk; coverage.

Fecha de recepción: Agosto de 2019 / Fecha de aceptación en forma revisada: Noviembre de 2019

¹ Artículo derivado del proyecto de investigación “*Determinación de Instrumentos Financieros Derivados Aplicables a la Producción Arrocera en el Departamento del Meta*” Avalado por la DGI de Unillanos.

² Contador Público, Especialista en Auditoría y Revisoría Fiscal, Magister en Finanzas de la Universidad de Santander, Docente Auxiliar de la Universidad de los Llanos, Grupo de Investigación FICOMEF de la Universidad de los Llanos Villavicencio – Meta – Colombia, Correo Electrónico jisastoque@unillanos.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-0502-9879>

³ Economista, Magister en Finanzas de la Universidad de Santander, Docente Asistente de la Universidad Popular del Cesar Seccional Aguachica – Cesar – Colombia, Correo Electrónico luisrestrepo@unicesar.edu.co <https://orcid.org/0000-0002-4985-896X>

Introducción al Modelo de Valoración de Opciones

Un derivado es por definición un instrumento cuyo valor depende o deriva del valor de un “Subyacente”, de acuerdo con O’Connor (1993) y Mascareñas (2012), es un instrumento cuyo valor depende de los valores de otras variables fundamentales más básicas; los cuales facilitan la gestión de los riesgos frecuentes en las operaciones de las empresas o en procesos de inversión. Los más comunes son los Swaps, forwards, futuros y opciones.

De acuerdo con Hull (2006), “los mercados de derivados han adquirido una importancia cada vez mayor en el mundo de las finanzas y las inversiones” (p.17); al respecto, Esquivel (2008) resalta que penetraron profundamente los mercados financieros a mediados de 1980 más, sin embargo, es de desatacar que estos instrumentos financieros no son una invención moderna del desarrollo de las finanzas y que han desempeñado un papel fundamental para el desarrollo del comercio hace varios miles de años, los cuales, según Siems (1996), “deben ser utilizados por los bancos y corporaciones para administrar mejor la exposición al riesgo” (p.19) y que de acuerdo con Mendoza (2005) y Toporowski (2011) son necesarios para los países en desarrollo, ya que de acuerdo con Gray (2003), facilitan la toma de decisiones a corto y largo plazo ayudando a reducir la incertidumbre asociadas a la inversión.

En este sentido, Rodríguez (2009), menciona:

Frente al riesgo de los mercados financieros, a través de los instrumentos derivados podemos liberarnos, eliminarlo, transformarlo o tomar solo el que nos parezca atractivo u oportuno del riesgo de mercado financiero, en síntesis, se puede hacer del riesgo una oportunidad (P.20).

Además, según Bachiller (2001), “facilitan la conexión entre oferentes y demandantes no teniendo que estar en contacto directo para realizar la liquidación de los contratos”. (Pág.1). De acuerdo a Weber (2010), registros históricos muestran que se han encontrado escritos en tabletas de arcilla de contratos derivados en la antigua Mesopotamia que datan del año 1750 A.C. en la cual se negocian esclavos a un precio flexible donde se genera la opción de entregar los esclavos o cierta cantidad de plata. Aristóteles (s.f) en su libro “La Política” Capítulo VII Libro I Describió un tipo de derivados que permitía manipular los precios del mercado de aceite de Oliva; de acuerdo a la descripción, Galbraith y Villacampa en el siglo XVII expresaban que los contratos de opciones se empiezan a operar en la bolsa de Ámsterdam con la negociación de los precios de los tulipanes. Japón incursionó con las negociaciones de futuros sobre arroz en 1600; Estados Unidos inicia con la apertura del Chicago Board of Trade 1848 cuya primera transacción se realiza con contratos de futuro de productos agrícolas en 1965 generando el espacio propicio para darle profundidad al desarrollo de este mercado.

Los activos subyacentes sobre los cuales se ofrecen instrumentos financieros derivados en la actualidad están representados por financieros, en donde se ofrecen divisas, bonos, acciones, índices bursátiles, tasas de interés; el mercado de Commodities integrado por granos, algodón, cereales y ganado; el mercado de metales representado por oro, plata y cobre; el mercado de Energéticos integrado por petróleo, energía eléctrica y gas y el mercado de derivados climáticos integrado por temperatura, precipitaciones, nieve, humedad entre otros.

En concordancia con Gray y Joanna (2003), es necesario resaltar que de acuerdo con el mercado donde se negocien los instrumentos derivados, se establece una clasificación de Derivados Estandarizados, los cuales se negocian en Bolsas de Valores y contratos extrabursátiles o no estandarizados - Over the Counter (OTC) los cuales se pueden negociar libremente entre oferentes y demandantes.

La presente propuesta se centra en la estructuración de una opción de tipo climático, partiendo del análisis de la información histórica, cuya base inicial se encuentra en el modelo de

Fisher Black y Myron Scholes que constituye el desarrollo formal de la teoría de las opciones Creso (1998); que de acuerdo a Davies (2003), quienes proponen la fórmula de estimación del valor de las opciones, tomando como base la trazabilidad del precio de las acciones para estimar las probabilidades de su valor futuro, con la aplicación de su teoría no se está eliminando el riesgo sino que este está implícito en el precio del activo subyacente.

De acuerdo con Black y Scholes (1973) y a las definiciones de Hull (2002) y a Fernández (2003) se puede inferir que una opción es un contrato que le otorga el derecho, pero no la obligación de comprar o vender un activo, sujeto a ciertas condiciones, dentro de un periodo de tiempo determinado especificado denominado activo subyacente. Que pueden ser del tipo “Opción Americana” las cuales se pueden ejercer en cualquier momento hasta la fecha de termina la opción; o del tipo “opciones europeas” las cuales se pueden ejercer solo en una fecha futura determinada. El precio que se paga por el activo cuando la opción es ejercida se denomina “precio del ejercicio” y la fecha en la que se puede ejercer se denomina “fecha de vencimiento”.

Siguiendo con Black y Scholes (1973) y en concordancia con Rodríguez (2009), el precio inicial del activo subyacente parte de un precio del ejercicio con notación K llamado Strike y la fecha de vencimiento en un tiempo se denota t .

Black y Scholes (1973) definen de acuerdo con la terminología anglosajona dos tipos generalizadas de opciones: “Call” y “Put”, donde la primera da al comprador de la opción el derecho de comprar el activo subyacente a un precio determinado en una fecha o fechas futuras (dependiendo si son del tipo americana o europea). La segunda da al vendedor de la opción el derecho de vender el activo subyacente a un precio determinado a una fecha o fechas futuras.

Para operación de las opciones se debe tener en cuenta que la liquidación o Payoff de una opción Call es $Max\{St - K, 0\}$ dado que si $St > K$ se ejerce K y se vende a St , lo que genera una ganancia o beneficio de $St - K$. En el otro caso la opción no se ejerce y el Payoff es 0. Para el caso de una opción Put es $Max\{K - St, 0\}$. Ya que si $St < K$ el benéfico de tomar la opción de venta está dado por $K - St$. La dificultad de acuerdo con Black y Scholes, respecto a la valuación de la opción radica en la tenencia del derecho y no la obligación, donde la volatilidad del activo está determinada por la desviación estándar de la variación del crecimiento del precio.

El modelo de Black y Scholes, están fundamentados en la teoría de los movimientos Browniano o proceso de Wiener de acuerdo con Rubinstein (2006), y Smoluchowski (1906), el cual parte del supuesto de que una variable se comporta como una distribución normal en el tiempo.

De acuerdo con Rodríguez (2009) un proceso estocástico puede clasificarse como “variable discreta” o “variable continua”, de acuerdo a si toma valores enteros o fracción decimal, para el caso de los activos financieros se tratan como variables continúa dado que en la práctica los movimientos mínimos permitidos son tan pequeños que importa poco la distinción por lo cual el cálculo diferencial e integral continuo es mucho más manejable que el discreto. Respecto al tiempo señala se puede afirmar que los activos financieros siguen un proceso discreto por el efecto de cierre diario de los mercados por lo que se espera que sus precios no pueden cambiar. Aunque en la práctica se encuentran que los precios de cierre no corresponden a los de apertura.

Al respecto señala Fama (1965) y French (1980), que en la práctica los precios cambian con menor intensidad durante el tiempo de cierre del mercado. Por lo cual se parte del supuesto de que los activos financieros siguen un proceso estocástico de variable continua y tiempo continuo.

Partiendo de lo antes expuesto y teniendo en cuenta que la propuesta de Weiner se fundamenta en la teoría de las probabilidades que por definición es un proceso estocástico que de acuerdo a Duana, Millán y García, (2008) y se da cuando un conjunto de variables aleatorias que

dependen de un parámetro, como el tiempo, en donde, $\{x_{(t)}|t > 0\}$, siendo el proceso estocástico $z(*)$ se denomina movimiento Browniano o proceso de Wiener si:

- i. $z_{(0)} = 0$
- ii. Para cualquier $t > 0$ y $a > 0$, $z_{(t+a)} - z_{(t)} \sim N(0, a)$
- iii. Para cualquier $t < 0$ y $a > 0$, $z_{(t+a)} - z_{(t)}$ son independientes de $\{z_{(s)}|0 < s < t\}$

La cabalgata aleatoria de Wiener describe el comportamiento de una variable con distribución normal, implicando un drift (de aquí en adelante Deriva), a 0 y varianza 1 por unidad de tiempo. Esto es, que si el valor inicial de la variable es x_0 al tiempo 0 entonces transcurrido el tiempo t presenta una distribución normal con media x_0 y varianza t .

Siguiendo con Duana, Millán y García,(2008) y Sintetizando, se tiene que un proceso generalizado de Wiener describe el comportamiento de una variable con distribución normal con una deriva, a y varianza b^2 por unidad de tiempo transcurrido, siendo a y b constantes, esto implica de acuerdo a lo antes expuesto que si una variable tiene valor inicial de x_0 al tiempo 0 entonces se distribuye normalmente con media $x_0 + at$ y varianza bt al tiempo t . Puede ser definido para una variable x sigue el proceso de Wiener Z como sigue:

$$dX = adt + bdZ$$

Con a y b constantes, siendo adt la parte determinística y siendo bdZ la parte aleatoria o impredecible del movimiento de X que genera el “ruido” según Rodríguez de Castro (1998, 114), y la constante b es la desviación estándar del término aleatorio.

La estimación del modelo Black Scholes parte del teorema de cálculo estocástico 1 del lema del lema de Ito (1951; 1 - 51)ⁱ que es una generalización del proceso de Wiener, partiendo de la ecuación diferencial y en concordancia con Duana, D. Millán G. y García como sigue:

$$dS = \mu S dt + \sigma S dZ$$

Donde $Z(t)$ es un movimiento Browniano, $V \in R$ y es una función de dos variables que toman valores reales de clase C^2 en dominio, dada así $V = C(S, t)$ por lo que se debe cumplir con lo siguiente:

$$dV = \left(\sigma S \frac{\partial V}{\partial S} dZ \right) + \left(\frac{\partial V}{\partial t} + \mu S \frac{\partial V}{\partial S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 V}{\partial S^2} \right) dt$$

Teniendo en cuenta que en la valoración de activos se hace fundamental la estimación de sus retornos, los cuales varían en el tiempo de acuerdo con su precio, partiendo del supuesto de mercados eficientes y asumiendo la condición del lema de Ito se sintetiza que:

$$V(S, T) = \ln S$$

Por lo cual y en concordancia con Duana, D. Millán G. y García como V satisface el lema de Ito se tiene que:

$$dV = \sigma S \frac{1}{S} dZ + \left(\mu S \frac{1}{S} - \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{1}{S^2} \right) dt = \sigma dZ + \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) dt$$

Donde μ y σ son constantes, por consiguiente $V(S, T) = \ln S$ siguen la tendencia de un proceso Wiener generalizado con tasa de deriva $\mu - \frac{\sigma^2}{2}$ y desviación estándar de σ , de lo anterior se deduce que:

$$\ln S_T \sim N(\ln S_0 + (\mu - \frac{\sigma^2}{2})T, \sigma^2 T)$$

Con S_T es el precio del activo en el periodo futuro T , S_0 es el precio inicial del activo. Implicando que el $\ln S_T$ presenta una distribución normal, por lo cual se deduce que la variación continua del activo presenta una distribución lognormal.

Para efectos de síntesis de la formalización matemática el modelo de Black & Schole estima el precio de una opción, que como activo financiero derivado parte de los siguientes supuestos.

- ✓ El precio del subyacente sigue un proceso de Ito de tipo $dS = \mu S dt = \sigma S dz$, donde tanto μ como σ son constantes.
- ✓ La venta en corto de activo está permitida, sin restricción sobre el uso del dinero así generado.
- ✓ No existen costos de agencia ni impuestos
- ✓ Todos los activos son infinitamente fraccionables
- ✓ No se pagan dividendos sobre el activo en el periodo que dura el instrumento derivado.
- ✓ No hay oportunidades de arbitraje sin incurrir en riesgo en el mercado
- ✓ El mercado es continuo
- ✓ La tasa libre de riesgo de crédito es constante y aplica para todos los plazos.
- ✓ La opción es del tipo europea.

Al simplificar la ecuación de Black-Scholes:

$$\frac{df}{dt} + rS \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} - rf = 0$$

Dónde:

r: tasa de interés libre de riesgo del mercado de una cartera X

S: Valor del activo subyacente

f: Precio del instrumento derivado

De esta ecuación se deduce que corresponde a la ecuación de calor de una dimensión utilizada en la física y utilizada analógicamente de acuerdo a Rodríguez de Castro, por Moerbecke (1976; 101 - 148)ⁱⁱ para resolver problemas de valoración de opciones recurriendo a las simetrías y otras propiedades de esta ecuación.

Sintetizando la formalización matemática y partiendo del concepto de Blasco A. y Ribal J. (2009, 94)ⁱⁱⁱ la fórmula de Black y Schole se fundamenta en la idea de crear una cartera compuesta por el activo a valorar o subyacente y un activo sin riesgo, de modo que tenga los mismos flujos de caja y los mismos costos que la opción a valorar.

La ecuación de Black y Scholes se aplica para Call y Put respectivamente simplificando la integral como se muestra a continuación.

$$V_{oc} = e^{-rt} \int_{\ln K}^{\infty} (e^u - K) \Phi(u) du = Se^{-yt} \Phi(d_1) - ke^{-rt} \Phi(d_2) \quad (\text{Opción Call})$$

$$V_{op} = ke^{-rt} \Phi(d_2) - Se^{-yt} \Phi(d_1) \quad (\text{Opción Put})$$

Dónde:

$$d_1 = \frac{\ln \frac{S}{K} + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma \sqrt{t}}; \text{ y } d_2 = \frac{\ln \frac{S}{K} + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma \sqrt{t}} \quad \text{ó} \quad d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{t}$$

Gráficamente se puede ilustrar a través de un sistema de gráficos correlacionados la tendencia de los datos respecto a su distribución mediante la siguiente figura 1.

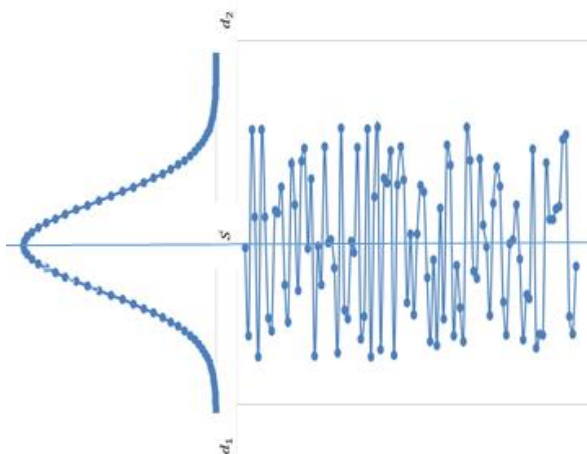


Figura 1. Sistema de gráficos correlacionados la tendencia de los datos respecto a su distribución teniendo en cuenta los parámetros (Fuente: Elaboración propia)

Con notación matemática:

S: Precio Spot del activo subyacente

K: Precio de ejercicio o strike Price de la opción.

σ : Volatilidad del precio del subyacente

t : Vencimiento de la opción

r : Tasa de interés libre de riesgo

y : Tasa de descuento

$\Phi(\cdot)$: Función de distribución normal estándar acumulada

$\Phi(d_1)$ Y $\Phi(d_2)$: Rango de probabilidad de que el valor actual supere el strike Price

En síntesis, el método Black-Scholes de valoración de opciones puede ser sobre cualquier cosa de acuerdo con Rodríguez (2009) “tales como acciones; bonos; oro, materias primas, edificios o incluso de otra opción o de efectos climáticos. En el siguiente aparte se aborda en profundidad este último de tipo de instrumentos de cobertura frente al riesgo” (p.130).

Cobertura de Riesgo a través de Derivados Climáticos

El factor climático se constituye en un variable determinante a nivel económico, dado que condiciones de operación de las empresas de acuerdo con el sector productivo al que pertenezca. Dentro de las actividades que presentan mayor explosión al riesgo por efectos del clima se encuentran la agricultura. Generando de acuerdo con Shimpi, y Turner (1999) “incertidumbre y volatilidad en sus flujos de efectivo por que sus efectos condicionan sus ingresos y costos.” (p.200).

El riesgo climático o riesgo agroclimático se acuerdo con Rodríguez y Valdunciel, (2012) y Hao, Hartell y Skees (2004):

Representan la merma económica, y, por consiguiente, efectos sociales, derivados de los movimientos adversos en determinadas variables climáticas. Los cuales no tienen que ser necesariamente extremos como huracanes, o posibles efectos del cambio climático, los instrumentos generados recientemente al respecto se centran en movimientos meteorológicos más moderados y “semi-normales”. Siendo estos últimos los más extendidos y frecuentes, generando graves efectos. Por lo cual ambas fuentes de riesgos deben ser minimizadas. (p.3)

Al respecto y en concordancia con De Paz (2004):

Cabe resaltar que la cobertura de los eventos extremos resulta ser más fácil de cubrir a través de seguros agrícolas, que cubren un alto riesgo con la baja probabilidad de ocurrencia, pero este tipo de coberturas no se pueden extender a eventos “semi-normales” con menor riesgo y con mayor probabilidad de ocurrencia. (p.6)

De acuerdo con De Paz (2004) citado por Castro (2009) “el instituto Meteorológico Británico más del 80% de la actividad empresarial en el mundo depende del estado meteorológico, por lo cual los efectos de los cambios climáticos afectan a cualquier sector de la economía.”

Los contratos de cobertura a través de derivados son un mecanismo de transferencia de riesgo por consiguiente su objeto es lograr que los agentes logren una combinación apropiada entre riesgo-rentabilidad esperada. En este sentido y de acuerdo con Sapag (2006)” es importante aclarar que su valoración se basa en el riesgo dado que existen antecedentes para estimar su distribución de frecuencia y a diferencia de la incertidumbre donde hay total desconocimiento de los escenarios posibles” (276)

El mercado de derivados climáticos de acuerdo con Cao, Li & Wei (2003) menciona que surge por efectos de la desregulación de la industria de energía y servicios públicos en Estados Unidos a mediados de la década de 1990, que genero la necesidad de buscar instrumentos de cobertura frente a los riesgos de mercado y los efectos del cambio climático producidos por el fenómeno del niño en el periodo de 1997 y 1998 que generaron grandes pérdidas a la industria a nivel mundial y que a través de estos instrumentos financieros un mecanismo de minimizar los riesgos derivados del comportamiento del clima.

De acuerdo con Cao et al. (2003), Los derivados climáticos empiezan a operar en el mercado Over de Counter (OTC) en 1997 cuando las industrias Koch y Enron estructuran un índice de temperatura para cubrir el riesgo de invierno de 1997, denominado Heating Degree Day (HDD) en Milwaukee Wisconsin. Para 1999 la Bolsa Mercantil de Chicago (CME) genero contratos estandarizados de futuros y opciones para índices de temperatura para 10 ciudades denominados heating Degree Day (HDD) y Cooling Degree Day (CDD) los cuales se inician a operar en bolsa.

Este tipo de mercado de acuerdo con Arango (2013) especifica:

Se extendió a Europa en periodos mensuales y estacionales, para 2005 Holanda y Estados Unidos incursionan en índices de precipitaciones de nieve; en Canadá adicionaron una nueva figura de derivado climático CAT (Cumulative Average Temperature) en 2006, en 2007 se incursiona en un índice de temperatura promedio semanal de lunes a viernes; para 2008 ingresan a estos mercados Australia y Japón y se siguió extendiendo en estados Unidos y Europa. (p.29).

El mercado Bursátil en Colombia a través de la bolsa de Valores de Colombia ofrece opciones sobre tasas de cambios; Índices y acciones” y Bolsa Mercantil, (BVA, 2018) en la bolsa mercantil de Colombia se ofrecen solo futuros sobre precios de 22 diferentes tipos de subyacentes de diferentes productos agropecuarios entre ellos el arroz Paddy seco.

Actualmente en Colombia no se estructurado un mercado de derivados climáticos, por consiguiente, no se cuenta con un marco normativo que al respecto regule las condiciones de este tipo de operaciones.

Por lo anterior la posibilidad de desarrollar estas operaciones y haciendo uso de la hermenéutica jurídica, por analogía se puede establecer que de acuerdo a la circular Externa 100 de 1995 (Circular Básica Contable y Financiera) dentro de las tres finalidades de negociación de los instrumentos derivados, a saber: Cobertura de riesgos; Negociación, con el propósito de obtener

ganancias y arbitraje en los mercados; los derivados climáticos podrían negociarse dentro de la cobertura de riesgos que se pueden categorizar como exóticas^{iv}.

Las cuales de acuerdo con Crespo (1998) “por definición son estructuradas con diferentes propósitos, tales como reducción de costos de las primas o para ajustar de manera adecuada determinadas situaciones.” (p.303)

Según el periódico Portafolio (2016) detalla el riesgo para el sector agrícola:

El riesgo del sector agrícola en Colombia se limita a coberturas de riesgos a través de seguros agropecuarios representados por seguros comerciales financiados por los productores los cuales reembolsan las pérdidas alrededor del 10% o 30% de la producción; y los seguros catastróficos que son normalmente contratados por el estado y permiten resarcir lo ocurrido y transferir el riesgo al sector asegurador (p. 1).

De acuerdo con Arango (2013) “los derivados climáticos tienen importancia únicamente en la medida en la que haya actividades económicas que tengan una alta dependencia del clima. Para el caso del sector agrícola se presenta un amplio potencial en materia de cobertura del riesgo climático”. (p.43)

Dentro de las actividades del sector agrícola con mayor relevancia para la economía nacional, se encuentra el café cuyo mayor riesgo en cuanto a productividad de acuerdo con Ramírez, et al (2010):

Está representado por las precipitaciones y la radiación solar; el banano que según Guarín (2010) la variable más determinante son las precipitaciones cuyo estudio fue realizado entre el periodo de lluvias y “El Niño South Oscillation (ENSO)”; la caña de azúcar por su parte también depende de la disponibilidad de agua por el efecto del evo transpiración o consumo de agua diario. (p.395)

Según Fedearroz (2017) La producción arrocera en Colombia por su parte es de gran importancia en el mercado doméstico, dado que cuenta con una alta demanda por ser pilar básico de la canasta familiar, siendo impulsada por el precio y el ingreso familiar, los cuales son determinantes del consumo. En el mercado internacional en 2017 se inició a exportar a Canadá en el marco del tratado de libre Comercio firmado con este país, así mismo se está exportando a Venezuela y se visiona la apertura de los mercados de Ecuador, Perú, Cuba, México, Costa Rica, Puerto Rico y Chile.

El territorio colombiano se halla dividido en cinco (5) zonas arroceras con condiciones económicas y agronómicas muy similares para el cultivo del arroz; una de ellas es la zona Llanos la cual se encuentra conformada por los departamentos del Meta, Casanare, Arauca, Guaviare, Vichada y el municipio de Paratebueno (Cundinamarca), siendo la producción arrocera una de las actividades principales que contribuyen al desarrollo económico y social y de acuerdo al Censo Nacional Arrocero 2016, de las 570,802 has de área sembrada de arroz mecanizado en el país, esta zona contribuye con el 45.3% alcanzando una cifra de 258.292 has y el Meta específicamente participa con 941 productores, 1871 Unidades Productoras de Arroz (UPA) y un área sembrada de 77.635 has ocupando un tercer lugar en la producción por departamentos.

A partir de la relevancia del cultivo de arroz en Colombia y teniendo en cuenta que su nivel de productividad está influenciado en gran medida por factores climáticos en el presente documento se centra en la estructuración de un una opción de cobertura climática para su producción, para lo cual se analiza seguidamente la metodología establecida para determinar la variable de mayor impacto en la producción para la determinación del instrumento derivado que se ajusta a los requerimientos del sector.

Metodología Para la estructuración del Instrumento de Cobertura Climática

La presente investigación es de tipo descriptivo con enfoque cuantitativo describiendo los fenómenos, eventos, contextos y situaciones especificando como se manifiestan, por lo cual al aplicar el método descriptivo se pretende generar los pasos lógicos e iterativos que permitan estructurar un instrumento financiero que mitiguen el riesgo climático en los cultivos agrícolas específicamente en la producción arrocerera.

Para efectos de la estructuración del instrumento de cobertura de riesgo se han tenido como información un diagnóstico del sector arrocerero en el departamento, seguidamente se analizaron las muestra de base las series de tiempo de la producción de arroz comprendida entre los años 2001 y 2017 para ocho municipios del departamento del Meta para el calendario A, de acuerdo a información suministrada por el Departamento Administrativo Nacional de estadística (DANE) y Fedearroz en contraste con el comportamiento de las variables de afectación climáticas representadas por Temperatura, Radiación solar y pluviosidad de acuerdo a los estaciones de medición ubicadas en los municipios de análisis, cuya información fue suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales (IDEAM).

Es importante resaltar la importancia de la región de los Llanos en cuanto a la producción arrocerera que de acuerdo con Aktiva Servicios Financieros (2013), en esta zona se cultiva el 37% de la producción nacional y es cosechada en el segundo semestre por factores ambientales, lo cual incide en la determinación del precio del arroz Paddy por el aumento significativo de la oferta.

El modelo propuesto compara el strike con la variable climática analizada y se calcula el pago que hubiera obtenido cada año. Seguidamente se estima el promedio de pagos que se podrían haber generado en años anteriores, permitiendo establecer una aproximación de lo que debería recibir en el futuro. Por lo cual si el contrato se firma en un determinado año se deberá descontar el pago promedio para traerlo a valor presente.

Para efectos de estructurar el instrumento de cobertura climática se han definido cuatro fases que permitan alcanzar los fines propuesto. Estas se describen a continuación.

Fase Uno: Procesamiento de datos

Para el procesamiento de datos se estableció una base de datos en Excel a partir de la información suministrada por el DANE e IDEAM para los ocho municipios con los que no se encontró rezagos de la información generando una serie de tiempo de 98 observaciones en total con participación de cada municipio.

La información de producción como variable dependiente, estuvo representada por las toneladas por el total de área sembrada por municipios para el calendario A, con el cual se contó con la información necesaria para el análisis de las series respectivas.

Dentro de las posibles variables determinantes de la producción se tuvo en cuenta el área sembrada, la temperatura, promedio diaria semestral estimada por municipio, de igual manera la pluviosidad y el brillo solar.

Los municipios analizados con las respectivas estaciones de medición estuvieron representados de la siguiente como se ilustra a continuación.

Tabla 1 Variables determinantes de los municipios del departamento del Meta

Municipio	Est. Temperatura	Est. pluviosidad	Est. brillo solar
Villavicencio	25.0°	331.5 mms	4.70 hs
Cumarál	25.9°	278.2 mms	4.30 hs
Granada	25.7°	236.1 mms	5.00 hs

Puerto Gaitán	26.2°	205.0 mms	5.60 hs
Puerto López	26.4°	214.3 mms	5.30 hs
Puerto Lleras	25.5°	208.1 mms	4.30 hs
San Martín	24.1°	250.1 mms	5.20 hs
Vista Hermosa	24.2°	226.3 mms	4.57 hs

Nota: (Fuente: Elaboración propia)

Los datos reflejados en las series estuvieron representados mediante la siguiente estructura:

A_{ij} : Área sembrada para cada municipio i en el periodo j

$\bar{T}_{ij}^{\circ C}$: Temperatura media semestral de los promedios diarios en grados Celsius para cada municipio i para cada periodo j

\bar{P}_{ij} : Precipitaciones promedios mensuales en milímetro por segundo para un semestre para cada municipio i en el periodo j

$\bar{B}_{ij}^{w/s}$: Brillo solar en watts por segundo promedio semestral de promedios diarios por hora para cada municipio i para cada periodo j

Dónde:

$$\bar{T}_{ij}^{\circ C} = \frac{\sum_{k=1}^6 \frac{\sum_1^d T_{ij}^{\circ C}}{d}}{6}$$

$$\bar{P}_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^6 T_{ij}^{\circ C}}{6}$$

$$\bar{B}_{ij}^{w/s} = \frac{\sum_{k=1}^6 \frac{\sum_{t=1}^{24} B_{ij}^{w/s}}{24}}{6}$$

Siendo las notaciones faltantes en la descripción:

d : Número de días para cada mes que comprende el primer semestre

k : Número de meses que integran el semestre, equivalente a la constante 6

t : Representa la fracción de tiempo diaria en hora, en la que se toma la temperatura de referencia, para el promedio diario en 24 horas.

Fase Dos: Estimación de la variable con mayor afectación climática en la producción de arroz.

En la definición de la variable determinante en la productividad del arroz se empleó la función de producción, el cual de acuerdo a (Cruz & Llinás 2010) “permite medir los efectos marginales de la pluviosidad y el calor sobre la producción, así como la productividad marginal del clima” (p.132). Todos los procesos econométricos han sido desarrollados a través del paquete informático que ofrece el Software Eviews.

Dado el análisis de las variables establecidas para efectos de la estructuración del modelo, la función de producción de toneladas métricas de arroz por ciclo productivo estaría dada:

$$Q_a = \varphi A_{ij}^{\beta_1} \bar{T}_{ij}^{\circ C \beta_2} \bar{P}_{ij}^{\beta_3} \bar{B}_{ij}^{w/s \beta_4}$$

Donde las nuevas notaciones Q_a representa la producción de arroz en arrobas semestrales; φ represente el intercepto en el eje vertical o de las coordenadas; los coeficientes β_1 , β_2 , β_3 y

β_4 representan los coeficientes de elasticidad del área sembrada, de la temperatura promedio diaria semestral, de las precipitaciones promedios mensuales acumuladas y brillo solar respectivamente.

Temperatura media mensual en grados Celsius; y los coeficientes de elasticidad de la pluviosidad y el calor son determinados por β_1 y β_2 .

A partir de la anterior expresión de regresión múltiple se puede re expresar como un modelo doble logarítmico, con lo que, se define la nueva expresión.

$$\ln Q_a = \alpha + \beta_1 A_{ij} + \beta_2 \bar{T}_{ij}^{\circ c} + \beta_3 \bar{P}_{ij} + \beta_4 \bar{B}_{ij}^{w/s} + \mu$$

Donde las variables siguen manteniendo la misma representatividad, el término α representa el valor constante del modelo y μ el error estocástico o perturbación.

Para el tratamiento econométrico de los datos de series de tiempos se inicia comprobando la no estacionalidad de los datos, se resalta que esta condición afecta de forma significativa las distribuciones en las etapas de contraste y validación del modelo. Para tal fin se procedió a aplicar los siguientes procedimientos.

- ✓ Se realiza un análisis de dispersión para iniciar el análisis de las series
- ✓ Se comprueba el supuesto de no estacionalidad de las series para lo cual se define como hipótesis nula H_0 e hipótesis alternativa H_1 como se expresa a continuación.

H_0 : La raíz es unitaria ($\rho = 1$), por la cual la serie no los datos son no estacionarios.

H_1 : La raíz no es unitaria ($0 \leq \rho < 1$), por lo cual la serie es estacionaria.

Para efectos de determinar estos parámetros se aplica el test de Dickey-Fuller. El cual de acuerdo a (Ríos, 2015) que cita a (Pérez, 2008), este aparte de que el proceso generado de la serie de datos esta dado de la siguiente forma. (p.29)

$$\begin{aligned} x_t &= \rho x_{t-1} + \mu_t \\ x_0 &= 0 \rightarrow N(0, \sigma_\mu^2) \end{aligned}$$

De lo anterior, se deduce que si se cumple la hipótesis nula, la variable x_t presenta una caminata aleatoria pura, por lo cual la serie es no estacionaria, lo cual se puede denotar de la siguiente manera.

$$x_t = x_{t-1} + \mu_t \leftrightarrow x_t - x_{t-1} = \mu_t \leftrightarrow (1 - L)x_t = \mu_t$$

Donde el polinomio L representa el operador de retardos y un a raíz unitaria, aspecto que denota el nombre genérico de este tipo de constantes de acuerdo con Pérez (2008).

Siguiendo con (Pérez, 2008), los valores críticos para el estadístico del contraste de la raíz unitaria establecidos a través del test de Dickey –fuller, están determinados a través de los modelos expresados a continuación.

$$\begin{aligned} x_t &:= \rho_a x_{t-1} + \mu_t \\ x_t &:= \mu_b + \rho_b x_{t-1} + \mu_t \\ x_t &:= \mu_c + \gamma_c t + \rho_c x_{t-1} + \mu_t \end{aligned}$$

Las expresiones anteriores plantean en la primera ecuación el modelo sin constante, en la segunda ecuación el modelo con constante y en la tercera el modelo con constante y tendencia respectivamente, con raíz unitaria para cada modelo.

Con el proceso anterior se establece la estacionalidad de las variables de producción; Áreas sembradas; temperatura; Precipitaciones y Brillo solar, en primeras o segunda diferencia con la

finalidad de regresar la variable con igual nivel de estacionalidad, lo cual se complementa con el análisis de correlogramas a través del análisis de procesos auto regresivos (AR) y de medias móviles (MA).

Por definición de acuerdo con Peña (2005):

Un modelo de media Móvil de orden MA (1) son función de un numero finito y generalmente pequeño de las series anteriores, mientras que los modelos Auto regresivos de primer orden (AR1) por su parte generalizan la estructura de la regresión para representar la dependencia lineal entre dos variables aleatorias. (109-165)

En síntesis, la formalización matemática de un modelo de media móvil del orden 1 MA (1) está dado por un proceso cuyo valor está en función de los q últimos cambios tal como se indica en la siguiente expresión:

$$\tilde{z}_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

Expresando los operadores:

$$\tilde{z}_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) a_t$$

Y de forma más abstracta puede expresarse así:

$$\tilde{z}_t = \theta_q(B) a_t$$

Por su parte, los procesos AR (1) se denotan de la siguiente manera:

$$a_t = (1 - \phi B) \tilde{z}_t$$

Multiplicando por el operador inverso se tiene:

$$\tilde{z}_t = (1 + \phi B + \phi^2 B^2 + \dots) a_t$$

Posteriormente se aplica test de Dickey Fuller básico y aumentada, presentado la siguiente expresión para el primero para procesos no estacionarios.

$$\nabla_{z_t} = a_t$$

Y para el estacionario.

$$(1 - \rho B) z_t = C + a_t$$

Para el caso de Dickey-Fuller aumentado el cual se generaliza para los procesos ARMA partiendo de un proceso AR(p - 1), del cual se quiere conocer si tiene raíz unitaria; para lo cual se plantea la elección entre dos modelos.

Con:

$$H_0: \rho_p * (B) \nabla z_t = a_t$$

$$H_1: \rho_{p+1} * (B) z_t = c + a_t$$

Lo anterior, infiere que la hipótesis nula establece la raíz mayor AR(p + 1) es igual a 1 y el proceso es no estacionario, mientras que la alternativa indica, que esta raíz es menor a 1 y por consiguiente se tiene un proceso estacionario.

Una vez establecida la no estacionalidad de las series de tiempo, las cuales tiene varianza no constante, la existencia de tendencia y medias móviles, se consideró necesario eliminar la tendencia de las series a través del filtro Hodrick-Prescott, como complemento al Test de Dickey. Fuller antes desarrollado.

Según Rio (1999) ,el filtro Hodrick-Prescott es lineal y simétrico, concebido metodológicamente para extraer la tendencia de una serie temporal, cuya finalidad es filtrar el logaritmo natural de una serie extrayendo el componente permanente y obteniendo como resultado el factor cíclico., descomponiendo una serie observada en dos elementos, la tendencia (m_t) y el ciclo (C_t).

$$x_t = m_t + c_t$$

Siguiendo con Rio (1999), frente al problema de minimización, el filtro Hodrick-Prescott, identifica el ciclo y la tendencia equilibrada de un trade-off entre suavidad y ajuste de la tendencia.

$$\min_{[c_t][m_t]} \left\{ \sum_{t=1}^T c_t^2 + \lambda \sum_{t=3}^T [(1-B)^2 m_t]^2 \right\}$$

Donde B representa el retardo tal $Bz_t = z_{t-1}$. El valor del parámetro λ se establece preliminarmente y modula la suavidad de la tendencia m_t . Cuando mayor se hace λ mas suavizada se ahora la tendencia. Por la tanto cuando $\lambda \rightarrow \infty$ se genera tendencia más suave y lineal. En caso contrario, si $\lambda \rightarrow 0$ el ajuste es máximo y la tendencia coincide con la serie observada x_t .

Seguidamente, se vuelve a aplicar el test de Dickey –Fuller a fin de verificar la no estadiad de las series transformadas y garantizar que la regresión será aplicada bajo series no estacionales y estacionarias que permitan que el modelo sea confiable y evitar la regresión espuria.

Fase tres: Determinación del rango óptimo de producción a partir de la variable climática subyacente

A partir de la regresión definida por técnicas de modelación econométrica se establece la variable determinante para definir la estructuración del derivado de cobertura climática y el respectivo rango optima a partir de la m

$$MaxQ_a = f(x|x: x_1; x_2; x_3 \dots \dots \dots x_i)$$

En la que se busca maximizar la función de producción en relación a la variable determinante x tal que x tome diferentes valores entre x_1 hasta x_i identificada para un valor x en la que Q_a alcanza su máximo, lo cual se puede establecer a través del análisis gráfico de dispersión.

Opcional.

Para la definición del índice de referencia se estableció como medida del índice la media de medias anuales para el periodo en la cual se realiza el ciclo productivo, correspondiente al calendario A, la pues es el resultado de la siguiente estimación:

$$\delta = \frac{\sum_1^6 \bar{T}_i}{t}$$

Dónde:

δ : Índice para la estimación de la liquidación de la prima del instrumento derivado de cobertura climática.

\bar{T}_i : Representa la media de cada periodo del ciclo productivo semestral calendario A.

t : Numero De periodos analizados.

Fase cuarta: Estructuración del instrumento derivado de cobertura climático

Para esta fase se aplica el modelo de Burn Analysis, el cual permite evaluar los contratos a partir de datos históricos, los cuales se realizan con opciones europeas Call y Put. Para lo cual se establece un nivel de Strike para la opción Call y Put respectivamente para lo cual se identifica un

rango óptimo para la producción de arroz, de acuerdo al análisis de dispersión previamente establecido.

A través del análisis de dispersión de datos se estableció el índice δ de temperatura definido por la media promedio de datos de temperatura a partir de la cual se establece el Strike, el cual es el valor de referencia sobre el cual se aplica la compensación cuando los parámetros de la variable de referencia se encuentran por encima o por debajo de ese valor, esto de acuerdo a la posición que está ejerciendo.

De esta manera los strikes estarían dados por posición como se expresa a continuación.

$$\begin{aligned} Strike_c &= \delta - \sigma_x \\ Strike_p &= \delta + \sigma_x \end{aligned}$$

En este sentido, el rango óptimo está determinado por la desviación estándar de la variable determinante x de la producción de arroz. Para el caso de del Ticker su valor está determinado por su valor en dólares por unidades de índices de acuerdo a su cotización del día de análisis en el CME Group.

De acuerdo a la posición, la estimación de la opción que darían establecidas de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} v_c &= \text{Max}(\delta - \text{Strike}) * \text{Ticker} \\ v_p &= \text{Max}(\text{Strike} - \delta) * \text{Ticker} \end{aligned}$$

Estas formulas de estimación se aplican de manera retrospectiva para establecer los flujos de cajas obtenidos por lo menos de los cinco últimos periodos en ambas posiciones y se descuentan a una tasa de descuento, denominada tasa libre de riesgo, que estará representada para el caso colombiano por el TES 2026. Con lo que se obtiene el valor presente de los flujos de cajas esperados los cuales se convierten a pesos colombianos y así evaluar el efecto en la moneda doméstica.

Resultados y Discusión

Teniendo en cuenta que los datos preliminares se procesan para ser utilizados en las bases de datos para la modelación econométrica, los resultados obtenidos se presentan a partir de la fase dos a continuación.

Las series de tiempos procesados a través del software Eviews 9 presentan las siguientes tendencias.

El modelo finalmente obtenido, es un modelo doble Logarítmico, autorregresivo de orden 1 y con efectos Garch que finalmente fue el que elimino la alta dispersión en los diferentes municipios del Meta.

Dependent Variable: LOG(PRODUCCION)				
Method: ML ARCH - Normal distribution (OPG - BHHH / Marquardt steps)				
Date: 09/11/18 Time: 21:22				
Sample: 1 98				
Included observations: 98				
Convergence not achieved after 500 iterations				
Coefficient covariance computed using outer product of gradients				
Presample variance: backcast (parameter = 0.7)				
GARCH = C(7) + C(8)*RESID(-1)^2				
Variable	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
LOG(TEM_MED)	-0.214538	0.041693	-5.145683	0.0000
LOG(PLUVIOSIDAD)	0.010416	0.004007	2.599138	0.0093
LOG(BRILLO_SOLAR)	0.018978	0.005809	3.267089	0.0011
LOG(AREA)	1.002911	0.000642	1561.734	0.0000
C	0.583511	0.133522	4.370153	0.0000
AR(1)	0.891852	0.016713	53.36215	0.0000
Variance Equation				
C	2.97E-05	0.000106	0.278779	0.7804
RESID(-1)^2	11.57684	3.780560	3.062201	0.0022
R-squared	0.942867	Mean dependent var	8.214287	
Adjusted R-squared	0.939762	S.D. dependent var	1.529756	
S.E. of regression	0.375456	Akaike info criterion	-1.383140	
Sum squared resid	12.96897	Schwarz criterion	-1.172122	
Log likelihood	75.77387	Hannan-Quinn criter.	-1.297788	
Durbin-Watson stat	1.788429			
Inverted AR Roots	.89			

Figura 2 Resumen de resultados del modelo (Fuente: Elaboración propia software Eviews 9)

Los Coeficientes en un modelo doble logarítmico se analizan en porcentajes de la siguiente manera:

β_1 : Permaneciendo constante las demás variables (pluviosidad, brillo solar, área), un incremento de 1% en la temperatura media, disminuye la producción en el 21.45%.

β_2 : Permaneciendo constante las demás variables (temperatura, brillo solar, área), un incremento de 1% en la Pluviosidad, aumenta la producción en el 1,04%.

β_3 : Permaneciendo constante las demás variables (pluviosidad, temperatura, área), un incremento de 1% en el brillo solar, aumenta la producción en el 1,89%.

β_4 : Permaneciendo constante las demás variables (pluviosidad, temperatura, brillo solar), un incremento de 1% en el área sembrada, aumenta la producción en el 100%.

Igualmente, todas las variables son altamente significativas, sobresaliendo el impacto negativo que tiene la variable Temperatura Media sobre la producción y el del área sembrada que eleva considerablemente la producción.

El R-Cuadrado que es la prueba de bondad de ajuste del modelo nos dice que la Producción es explicada por las variables temperatura media, pluviosidad, brillo solar y área en el 94.28%, los criterios Akaike y Schwarz son mínimos lo que garantiza un buen modelo, igualmente Durbin Watson y otras pruebas dicen que no existen los problemas del modelo inicial de Auto correlación y Heteroscedasticidad.

De lo anterior se deduce que la variable de tipo climático de mayor incidencia en la producción de arroz está representada por la temperatura con una beta de -0,214538, la cual se toma como referente para la estimación de índice de estimación para fijar la liquidación del Strike del instrumento financiero, como se indica a continuación.

Para la definición del índice de referencia se estableció como medida la fórmula planteada a nivel metodológico cuya aplicación genera el siguiente índice.

$$\delta = \frac{26,06+26,27+25,93+26,28+25,19+26,65+26,30+26,02+26,02+25,99+25,21+26,74+25,96+26,99+25,21}{15}$$

$$\delta = 26,05 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Este índice presenta una desviación estándar de la medida de medias de 0,538148262, partir de la cual se estructura los strikes para posición Call y Put, como sigue.

$$Strike_c = 26,05 \text{ } ^\circ\text{C} - 0,538148262 \text{ } ^\circ\text{C} = 25,52 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Strike_p = 26,05 \text{ } ^\circ\text{C} + 0,538148262 \text{ } ^\circ\text{C} = 26,59 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A partir de la estimación del strike se plantean las primas obtenidas para el periodo de producción comprendido entre 2012 y 2017, para lo cual el índice se ajusta para la temperatura media obtenida cada periodo semestral de producción de referencia t.

$$v_{c_t} = \text{Max}(\delta_t - \text{Strike}) * \text{Ticker}_t$$

$$v_{p_t} = \text{Max}(\text{Strike} - \delta_t) * \text{Ticker}_t$$

Los resultados obtenidos para cada periodo se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 2 *Valores de las opciones Call y Put Unidades de Índice.*

Año	Índice (δ_t)	<i>Strike_c</i>	<i>Strike_p</i>
2012	25,99	0,48	0,60
2013	25,21	0,00	1,38
2014	26,74	1,22	-
2015	25,96	0,45	0,63
2016	26,99	1,48	-
2017	25,21	0,0	1,39

Nota: (Fuente: elaboración propia con base en estadísticas IDEAM)

A partir de la estimación de puntos de strike obtenidos se estiman los flujos a partir del ticker, el cual se fija en 50 USD a partir del índice de Grados de Calor Extremo (HDD) de la Chicago Mercantil Exchange, generando los siguientes flujos monetarios en dólar.

Tabla 3 *Flujos de pagos para cada ciclo productivo 2012 -2017*

Año	CALL	PUT
2012	\$23,76	\$30,05
2013	0	\$68,99
2014	\$60,93	0
2015	\$ 22,27	\$31,54
2016	\$73,80	0
2017	0	\$69,28

Nota: (Fuente: elaboración propia con base en estadísticas IDEAM y CME)

Una vez obtenidos los flujos para cada año t, se plantea la necesidad de estimar el valor presente neto ajustado a la tasa continua equivalente a la tasa efectiva semestral equivalente para cada periodo, la cual se ha estimado así.

$$i_{cs} = \ln(1 + r_{fs})$$

$$\text{Con: } r_{fs} = (1 + r_f)^{1/2} - 1$$

Donde r_f es la tasa libre de riesgo efectiva anual correspondiente a la tasa de cada corte semestral del TES 2026, r_{fs} es la tasa efectiva de cada semestral libre de riesgo equivalente a cada tasa anual; i_{cs} representa la tasa de interés continua semestral equivalente.

Para la estimación del valor presente descontado a la tasa continua quedaría estimado como sigue a continuación.

$$p_c = \frac{f_c}{e^{r_{fs} * t}} = \frac{\text{Max}(\delta_t - \text{Strike}) * \text{Ticker}_t}{e^{r_{fs} * t}}$$

$$p_p = \frac{f_p}{e^{r_{fs} * t}} = \frac{\text{Max}(\text{Strike} - \delta_t) * \text{Ticker}_t}{e^{r_{fs} * t}}$$

Donde p_c y p_p representan el valor presente de la opción Call y Put respectivamente; f_p y p_p el valor de la opción en dólares correspondientes. Al aplicar las respectivas estimaciones se obtiene los resultados que se muestran a continuación.

Tabla 4

Pagos estimados a valor presente a tasa de corte de cada ciclo productivo

Periodo del ciclo	r_f	r_{fs}	p_c	p_p
2012-1	7,18%	3,47%	22,952	29,029
2013-1	7,22%	3,49%	0,000	66,627
2014-1	7,08%	3,42%	58,878	0,000
2015-1	7,74%	3,73%	21,458	30,387
2016-1	7,50%	3,62%	71,176	0,000
2017-2	6,49%	3,14%	0,000	67,137

Nota: (Fuente: elaboración propia con base en estadísticas IDEAM y CME)

A partir de los flujos de pagos en dólares estimados se realizan el respectivo proceso de cambio a pesos COP, a partir de las TRM de cierre de semestre, esto, es la tasa de cambio al término del mes de junio de cada año analizado de acuerdo a los reportes del Banco de la república, generando los flujos que se muestran a continuación.

Tabla 5

Pagos Estimados a valor presente en Pesos Colombianos para cada ciclo de producción.

Periodo del ciclo	Fecha	TRM_t	p_c	p_p
2012-1	30/06/2012	1784,6	40.960	51.806
2013-1	30/06/2013	1929	-	128.523
2014-1	30/06/2015	2585,11	152.205	-
2015-1	30/06/2015	2585,11	55.472	78.555
2016-1	30/06/2016	2916,15	207.561	-
2017-2	30/06/2017	3038,26	-	203.980

Nota: (Fuente: elaboración propia con base en estadísticas Banco de la Republica)

La expresión gráfica de los pagos respectivos estaría representada mediante los siguientes gráficos.

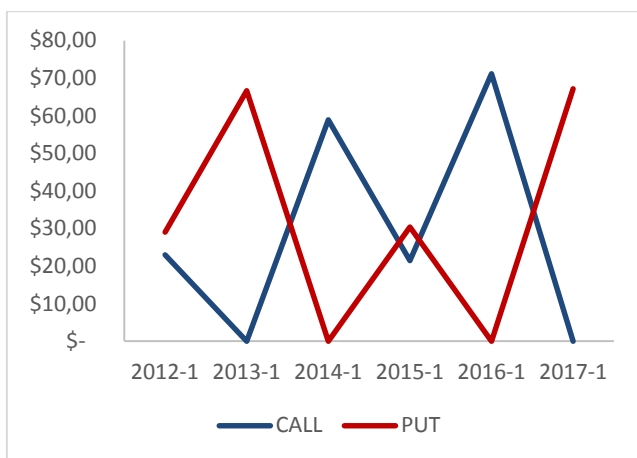


Figura 3 Valor presente de los flujos en USD. (Fuente: Elaboración propia)

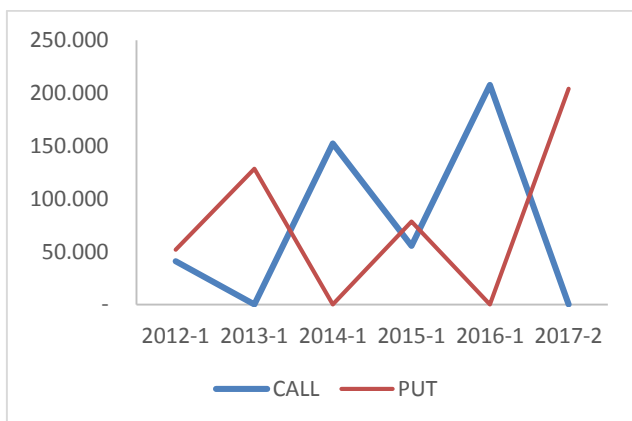


Figura 4. Valor presente en COP de los pagos. (Fuente: Elaboración propia)

Simulación de diferentes perfiles de riesgos en posiciones Call y Put respecto a valores del índice.

Gráfico 1. Posición Long Put en USD

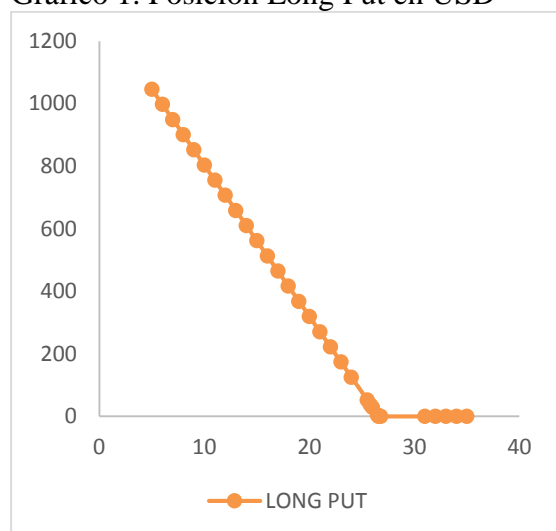
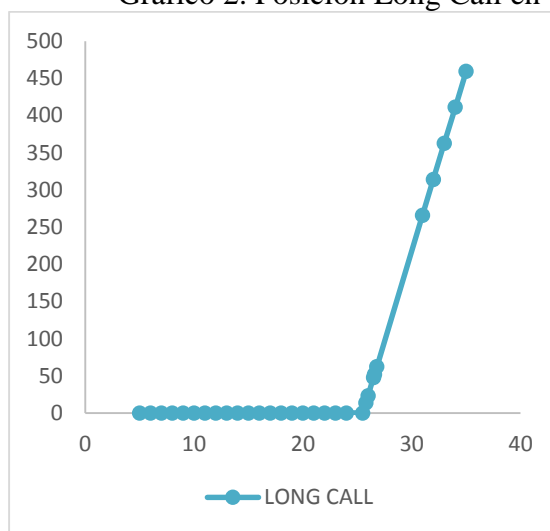


Gráfico 2. Posición Long Call en USD



La posición de Long Put implicaría que el comprador tiene como expectativa que la temperatura va estar por debajo del índice, por lo cual compra el derecho de vender el activo en el futuro a partir de una temperatura pactada hoy, y puede ejercer el derecho si las condiciones le son favorables. Esta es una posición que puede ser adoptada por los productores de arroz

La posición Long Call, el tomador de la opción adquiere el derecho para comprar un activo en el futuro a partir de una temperatura esperada hoy, teniendo como expectativa que la temperatura va a subir, por lo cual paga una prima, ejerciendo el derecho si le es conveniente. Posición que podría ser tomada por los molineros o distribuidores si le es conveniente.

Gráfico 3. Short Put en USD

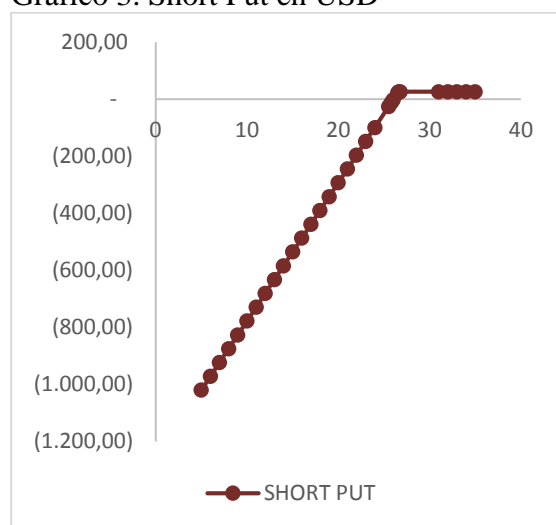
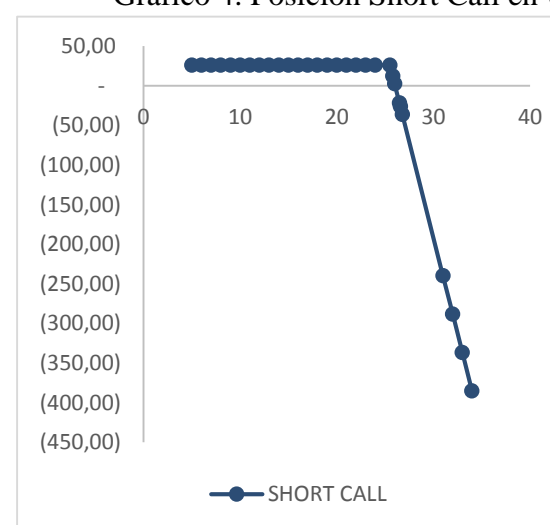


Gráfico 4. Posición Short Call en USD



Propuesta del Ticker a partir de los costos operacionales del cultivo.

Se adquiere el derecho de vender un activo en el futuro a partir de una temperatura esperada hoy con la expectativa que la temperatura va a subir, por lo cual recibe una prima y está obligado a comprar si le ejercen. Esta posición puede ser tomada por el productor.

Respecto a la posición Short Call el tomador vende el derecho para comprar un activo a partir de una temperatura esperada hoy, con la expectativa que la temperatura promedio se va ubicar por

debajo del índice, por lo cual recibe una prima condicionada a vender si le ejerce la posición la contraparte. Esta posición puede ser tomada por molineros o comercializadores.

Definición del Ticker

A partir de estudios de la Federación Nacional de Arroceros en relación a los costos operacionales del cultivo, los niveles de productividad mínimos y máximos alcanzados por cada municipio medidos en quintales por hectárea y los datos de temperaturas máximas anuales en el periodo comprendido entre el año 2012 y 2017 en relación al desfase con la temperatura optima esperada un Ticker a partir de los datos analizados para los ocho municipios en análisis en el departamento del Meta.

Tabla 6.
Gastos por hectárea

Promedio del rango	Municipios	8
\$ 3.941.172,00	1	\$ 3.941.172,00
\$ 3.643.036,00	5	\$ 18.215.180,00
\$ 3.065.716,00	1	\$ 3.065.716,00
\$ 3.876.406,00	1	\$ 3.876.406,00
PROMEDIO GASTOS POR hectárea		\$ 3.637.309,25

Fuente: elaboración Propia a partir de datos suministrados por AGROSAVIA con base en información del cultivo en diferentes localidades del departamento del Meta 2016

Tabla 7.
Productividad en ton/ha

MUNICIPIOS	1	5	1	1
Toneladas	1,12	1,05	1,01	0,94
Promedio de Producción en Toneladas	1,04			
Kg por quintales	50			
Quintales por tonelada	20			
Promedio de quintales por hectárea	21			

Fuente: elaboración Propia

Tabla 8.
Máxima pérdida esperada en quintales

Municipios	1	5	1	1
Perdidas / Quintales	11,87	10,47	9,67	8,27
Promedio de pérdida Máxima	10			

Fuente: elaboración Propia

Máxima pérdida estimada por quintales en pesos

Gastos por Quintales	\$ 174.870,64
Máxima pérdida (Pesos)	\$ 1.795.295,20

Fuente: elaboración Propia

A partir de estos datos se establecen los costos por quintales y la máxima pérdida esperadas en COP. Para lo cual se toma máxima temperatura, la cual representa la menos favorable para la cual se le descuenta la temperatura óptima para tomar como punto de referencia de para determinar cuánto se aleja de la temperatura óptima.

Para la estimación del Ticker a partir de los costos se toma el valor de la máxima pérdida en COP de acuerdo a los datos establecidos a partir de estudios sectoriales la cual se divide en el punto de desfase, como se ilustra a través de la siguiente tabla.

Tabla 9.

Temperatura máxima histórica

AÑO	TEMPERATURA MAXIMA
2012	26,5
2013	27,1
2014	27,18
2015	26,4
2016	27,23
2017	26,5

Fuente: elaboración propia a partir de datos suministrados por el IDEAM

Tabla 10.

Estimación del Ticker a partir de la productividad

CONDICION MENOS FAVORABLE HISTORICAMENTE		27,23
DESFAZ DESDE EL PUNTO OPTIMO		1,72
TICKER SEGÚN ASIGNACION DE COSTOS	\$	1.045.905

Fuente: elaboración propia

Tabla 11.

Definición del Derivado

Variable meteorológica	Temperatura
Índice	Temperatura media promedio
Estación de mediciones	Villavicencio, Cumaral, Granada, Puerto Gaitán, Puerto Lleras, Puerto López, San Martín, Vista Hermosa
Mínima fluctuación del índice	0,001 punto del índice
Ticker en pesos	\$ 1.045.905
Periodo del contrato	1 semestre
Strike CALL	25,52

Fuente: elaboración propia

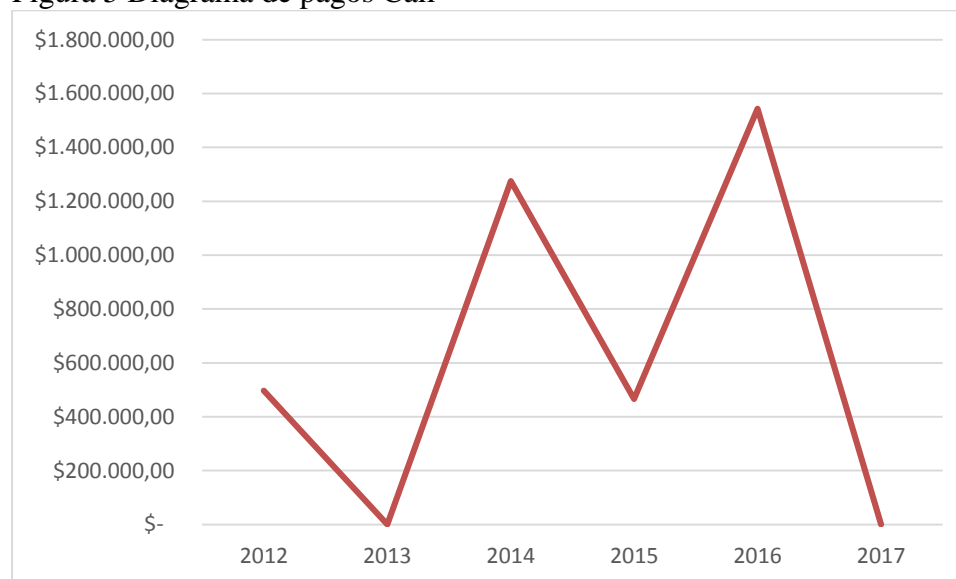
A partir de los datos estructurados y sistematizados se establecen los siguientes diagramas de pagos.

Tabla 12.
Diagramas de pagos

AÑO	INDICE TEMPERATURA MEDIA PROMEDIO	CALL P – STRIKE	DIAGRAMA DE PAGOS CALL	Vp
2012	25,992	0,475	\$ 497.045,48	\$ 481.661,26
2013	25,213	-	\$ -	\$ -
2014	26,735	1,219	\$ 1.274.459,66	\$ 1.235.013,43
2015	25,962	0,445	\$ 465.917,37	\$ 451.496,61
2016	26,993	1,476	\$ 1.543.697,06	\$ 1.495.917,57
2017	25,208	-	\$ -	\$ -

Fuente: elaboración propia

Figura 5 Diagrama de pagos Call



Fuente: Elaboración propia según cálculos de tabla 12

Conclusiones

En Colombia no se cuenta con un mercado de derivados climáticos y el riesgo en el sector agrícola es afrontado a través de seguros agropecuarios que son adquiridos por algunos productores que buscan asegurar sus flujos de caja futuros. Así mismo, se presenta el hecho que los modelos actuales de valoración de instrumentos financieros derivados para la búsqueda de un precio óptimo están enfocados al comportamiento que presenta las acciones o divisas por ser mercados estandarizados, mientras que la bibliografía sobre modelos de valoración para variables meteorológicas es escasa.

De acuerdo con Arango (2013), los derivados climáticos son necesarios en aquellas actividades económicas que tengan una gran dependencia del clima. Para el caso del sector agrícola se presenta un amplio potencial en materia de cobertura del riesgo climático ya que el departamento del Meta en el año 2016 contó con 941 productores 1.871 Unidades Productoras de Arroz (UPAs) y 77.635 hectáreas sembradas.

Es necesario destacar que el sector arrocero en Colombia presenta altos niveles de vulnerabilidad frente al cambio climático por lo cual la estructuración de una variable climática constituye una estrategia de gran importancia para el sector. Por lo cual una opción de cobertura contribuiría a la estabilidad de los flujos de cajas de los productores y por ende una mayor competitividad del sector.

Además, el ofrecer una opción de cobertura climática ayuda a reducir el gasto estatal en el pago en corresponsabilidad de pólizas de seguros.

Al realizar el análisis para la identificación del riesgo climático se encuentra que en el desarrollo del modelo de regresión múltiple, el cual se estimó con el fin de encontrar la variable o variables que más influye o influyen en la producción de arroz, acudiendo al método de Mínimos Cuadrados Ordinarios y al sustento teórico con la función de producción de Coob-Douglas, donde la producción está en función de cuatro variables consideradas para el estudio representadas por la temperatura, la pluviosidad, el brillo solar y el área sembrada. El Modelo obtenido a través del software Eviews 9, es un modelo doble logarítmico, autor regresivo de orden 1 y con efectos Garch que contribuyó a eliminar la alta dispersión en los diferentes municipios del Meta con un alto nivel de explicación y pronóstico.

Se concluyó que la variable de tipo climático de mayor afectación en la producción de arroz está identificada por la temperatura con una beta de $-0,214538$, la cual se toma como referente para el cálculo del índice de estimación y determinar la liquidación del Stricke del instrumento financiero.

Con la implementación del instrumento de cobertura se observa que las posiciones para los productores estarían en las posiciones Long Put y Short Call, con las cuales podría entrar a negociar con molineros o comercializadores de Arroz Paddy verde o de acuerdo a las condiciones que fijen en el tipo de contratos respecto al subyacente.

También es necesario resaltar que el desarrollo de este tipo de iniciativas se dificulta frente a las dificultades de acceder a la información sectorial en algunas regiones.

Se hace necesario adelantar trabajos complementarios para la construcción de un Ticker ajustado al contexto a las necesidades de los países latinoamericanos.

Es necesario que este tipo de iniciativas deban fortalecerse y replicarse a diversos renglones productivos del sector primario en Latinoamérica.

Referencias bibliográficas

- Aktiva Servicios Financieros. (2013). El entorno de la Actividad Arrocera en Colombia. Recuperado de: <http://aktiva.com.co/blog/Estudios%20sectoriales/2013/ARROZ.docx.pdf>
- Arango, M. (2013). Contratos Financieros Derivados del Clima como Estrategia de Cobertura en Colombia. Aplicación a una Central de Generación Hidroeléctrica. Medellín Colombia. P. 29 – 31. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/36252/1/1017131504.2014.pdf> fecha de consulta 01/11/2018
- Aristóteles. La política. Capítulo IV del libro I. Traducido de Pedro Simón Abril. Ediciones Nuestra Raza. Madrid. P. 38 – 40.
- Bachiller Cacho, A. (2001): “Bolsa y Gestión de Carteras”, Recuperado <http://www.5campus.org/bolsa> fecha de consulta 31/10/2018
- Blasco A., Ribal J. (2009) Simulación de Escenarios, A través de la Técnica de Simulación de Montecarlo, Valoración de Empresas y la teoría de las Opciones reales, Cap. 5. Libro El arte

- de Valorar empresas; Fundación de estudios Bursátiles y Financieros; Thomsom Reuters; Generalitat Valenciana; P. 94.
- <http://www.bolsamerchantil.com.co/Productos/MercadoFinanciero/SubyacentesyPreciosIndicativos.aspx>. Fecha de Consulta 04/11/2018
- Black, Fischer, Myron Scholes, (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, P. 637 – 664.
- BVC. (s. f). Descripción general derivados. Recuperado de <https://www.bvc.com.co/pps/tibco/portalbvc/Home/Mercados/descripciongeneral/derivados?action=dummy> .Fecha de Consulta 4/11/2018
- Cao, M., A., & Wei, J. (2003). Weather Derivates: A New Class of Financial Instruments. XVIII Circular Superfinanciera: Circular Externa 100 de 1995; p. 3.
- Castro M. (2009). Managing Weather Risk With Rainfall Option. Universidad Torcuato di Tella. P. 2. Recuperado de <https://www.econlink.com.ar/files/derivados-climaticos.pdf> fecha de Consulta 29/11/2018
- Crespo Espert, J.L. (1998): “Opciones Exóticas: tipología Valoración y Cobertura”, Cuadernos de Derecho y Comercio (27), Consejo de los Colegios Oficiales de Corredores de Comercio, Ed. Dykinson, Madrid España.
- Cruz, J., & Llinás, A. (2010). Modelo Analítico de Derivados de Clima para eventos Específicos de Riesgo en la Agricultura en Colombia. Bogotá.
- DANE (2016). Informes de 4 Censo de agricultura. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/censo-nacional-arrocero/presentacion-4to-censo-nacional-arrocero-2016.pdf>
- Davies, L. (2003) “Gambiling on Derivatives: Hedging Risk or Courting Disaster?”.
- De Paz Cobos, S. (2004). “Derivados Vinculados al Seguro”. Universidad Pontificia de Salamanca. Madrid. España. P. 6.
- Duana, D. Millán G., García, M. (2008) Una propuesta de solución de la ecuación de black-solesmerton, Revista académica virtual universidad de Málaga, Arbitrada ISSN 16968360 febrero 2008. Recuperado de <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/11684>
- Esquivel, R. Correa, E. (2008) Modelos de Crisis y el Uso de los Instrumentos Financieros Derivados. *Revista Latinoamericana de Economía*, 39 (55). P. 11 -27.
- Fama, E. (1965) “The Behaviour of Stock Market Prices” *Journal of Bussisness* 34-105.
- Fedearroz (2017). Colombia Exporta Arroz por primera vez. Publicado. Recuperado de <http://www.fedearroz.com.co/noticias/noticiasd2.php?id=2511> Fecha de consulta 04/11/2018
- Fernández, P.L. & Pérez, M. (2003). Opciones Financieras y Productos Estructurados. Madrid: McGraw. Hill/interamericana de España, S.A.U. Fresco S.A.
- French, K.R. (1980) “Stock Returns and the Weekend Effect” *Journal of Financial Economics* 8 55 – 69.
- Galbraith, J. K., & Villacampa, V. (1991). Breve historia de la euforia financiera. Barcelona:
- Guarín, G. W. (2011). Impacto de la variabilidad climática en la producción de banano en el Urabá Antioqueño. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: http://bdigital.unal.edu.co/4643/4/200720438.2011.Capitulos_6-8.pdf Fecha de Consulta 05/11/2018
- Gray, S., & Joanna, P. (2003). Derivados Financieros. Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos, 1. latinoamericanos, 1¹ Crespo, J. (2004). Tres Décadas de la Teoría de Opciones. Bosa de Madrid, 28 -33

- Gray, P.S. (2003). *Derivados Financieros*. Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos, Durango. México D.F.: Centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos Ni 54. DOI: 06700.
- Hao, J., Hartell J. y Skees, J. (2004). “Optimal Inter-Period Weighting of Cumulative Indices for Weather-Based Contingent Claims”. Selected Paper Prepares for Presentation at the American Agricultural Economics Association Annual Meeting, Dever, Colorado, August 1-4. P. 3.
- Hull C. John., (2006): *Introducción a los mercados de Futuros y Opciones*, 6ª Edición
- Hull j. C. (2002); 4ª Edición; *Introducción a los mercados de Futuros y Opciones*. Madrid: Prentice Hall.
- Ito, K. (1951) “On Stochastic Differential Equations” *Memoris, American Mathematical Society* 4. 1951. P. 1 – 51.
- Mascareñas J. (2012). *Mercados de Derivados financieros: Futuros y Opciones*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- Mendoza Álvarez, M. (2005). *Contratos derivados: apuntes Jurídicos para el desarrollo de un mercado en Colombia*. *Derecho – Universidad de los Andes*, (35), 115 – 202.
- Moerbecke, P.V. (1976) “On Optimal Stopping and Free Boundary Problems” *Archive for Rational Mechanics and Analysis* 60.P. 101 – 148.
- O’Connor. S. (1992) *Factores de desarrollo del mercado de derivados: la experiencia de Canadá* centro de Estudios Monetarios Latinoamericanos. *Revista monetaria*, 123-17a5.
- Periódico el Portafolio (2016): “Mercado de los Seguros Agropecuarios en Colombia tiene Auge.
- Pérez, C. (2008). *Econometría Avanzada. Técnicas y Herramientas*. Madrid, España: Pearson.
- Peña. Sánchez de Rivera, Daniel. (2005). *Análisis de Series temporales*. Alianza Editorial. Madrid España. ISBN 84-206-9198-3. P. 109 - 272.
- Ramírez, V.H., Jaramillo, Á, & Arcila, J. (2010). *Rangos Adecuados de Lluvia para el Cultivo de Café en Colombia*. *Avances Técnicos Cenicafé*, 395.
- Ríos, Castro, N. A., Vargas, Aranyón J.C. (2015). *Propuesta de Implementación de Derivados Climáticos como instrumentos de cobertura de Riesgo Financiero para el Sector Arrocerero en Yopal, Casanare*. P 28 – 30. Recuperado de http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18734/63102150_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y) Fecha de Consulta 15/09/2018
- Rio, A. d. (1999). *Agregación Temporal y Filtros Hodrick-Prescott*. (CD. Financiero, ed.) Madrid, España. Recuperado de <ftp://ftp.cemfi.es/mt/99/t9910.pdf> .Fecha de consulta 05/11/2018
- Rodríguez, J. (2009). *Los Derivados Financieros: Historia, Teorías, Datos y el Caso Peruano*. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/108016427/LOS-DERIVADOS-FINANCIEROS-HISTORIA-TEORIAS-DATOS-Y-EL-CASO-PERUANO>
- Rodríguez Luis A. y Valdunciel B. (2012). *Derivados climáticos*. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales Universidad de León. Universidad de león España. P. 18. Recuperado de https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/1893/71551554A_GADE_septiembre12.pdf?sequence=1 Uppsala.
- Rubinstein, M. (2006). *A History of The Theory of Investments*. WILLEY
- M. Von Smoluchowski: *Ann. Phys.* (1906) (Leipzig). P. 21 – 756.
- Sapag Chain, N. (2006). “Proyectos de Inversión. Formulación y Evaluación”. Ed. Prentice Hall. Chile. P. 276.
- Siems, F. (1996) *Los derivados Financieros: ¿se justifica nuevas regulaciones?* *Boletín del CEMLA*, P. 18-28

- Shimpi, P. y Turner, S. (1999). "Weather Risk Management". Shimpi, Prakash A. 8Editor). Integrating Corporate Risk Management. Swiss Re New Markets, New York. Captar 11. P. 200-201.
- Toporowski, J. (2011). Innovación Financiera y Desarrollo. Revista Problemas de Desarrollo, 42(165), 161 -169.
- Weber, E. (2010). "A short History of derivate securities markets" en The University of western Australia Discussion paper 08.10.
- Wold. Ho. (1938). A Estudy in the Analysis of Stationary time sories, Alquimist and Wicksell,
-