



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO
ADMINISTRATIVAS

**MAESTRÍA EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS
NATURALES**

**Mercado de futuros de café, una opción de cobertura de precios
para los productores mexicanos**

Tesis

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

**Maestro en Ciencias en Economía Agrícola y de los
Recursos Naturales**

Presenta:

Óscar Galván Manuel

Bajo la supervisión de: Dr. Gerónimo Barrios Puente

Chapingo, Estado de México, junio de 2021.



Mercado de futuros de café, una opción de cobertura de precios para los productores mexicanos.

Tesis realizada por el **C. Óscar Galván Manuel**, bajo la dirección del **Dr. Gerónimo Barrios Puente**, siendo revisada y aprobada por el jurado examinador abajo citado como requisito parcial para obtener el título de:

Maestro en Ciencias en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales

PRESIDENTE:



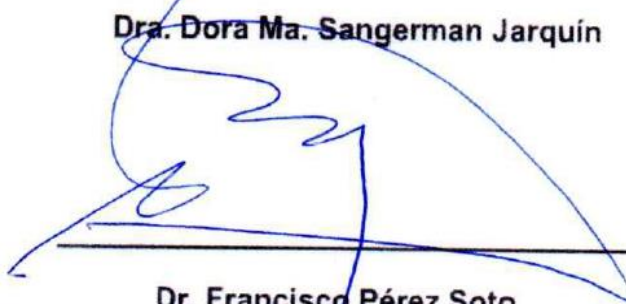
Dr. Gerónimo Barrios Puente

CODIRECTORA:



Dra. Dora Ma. Sangerman Jarquín

ASESOR:



Dr. Francisco Pérez Soto

ASESOR:



Dr. Roberto Carlos García Sánchez

Tabla de contenido

Capítulo 1. Introducción general	1
Panorama internacional del café.	2
Antecedentes	6
Justificación.....	8
Planteamiento del problema	9
Hipótesis	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.	9
Capítulo 2. Revisión de literatura.....	10
Teorías económicas y conceptos financieros.....	12
Teoría del precio de almacenamiento.	16
Teoría de expectativas racionales.....	17
El modelo de Muth.	18
EL mercado de futuros.	20
Literatura citada.....	27
Capítulo 3. Cobertura de precios para el café en el mercado de futuros, utilizando un árbol binomial de probabilidad.	31
Capítulo 4. Cobertura de precios para el café en el mercado de futuros, utilizando un modelo estocástico.	49
Conclusiones generales.....	80

Índice de figuras.

Figura 1. Curva de frontera eficiente.....	14
Figura 2. Función de la cámara de compensación.....	22
Figura 3. Relación entre el precio de futuros y el precio spot a medida que se aproxima el mes de entrega: a) Precio de futuros por arriba del precio spot; b) Precio de futuros por debajo del precio spot.	26
Figura 5. Ajuste de curva oferta/precio.....	62
Figura 6. Ajuste de curva demanda/precio.	63
Figura 7. Precio de cotización del café en el mercado de futuros vs predicción del movimiento Browniano.	64
Figura 8. Precio medio rural vs estimación mediante un árbol binomial a la baja.	65
Figura 9. Estimación de la media condicional del precio en el mercado de futuros.	66
Figura 10. Estimación de la media condicional del precio spot.	67
Figura 11. Número de contratos óptimos en función del precio pactado y la aversión al riesgo.	69
Figura 12. Número de contratos óptimos en función del precio pactado, aversión al riesgo, precio spot y precio futuro.	69
Figura 13. Número óptimo de contratos con una producción de 100 toneladas y aversión al riesgo cercana a 1.	70
Figura 14. Número óptimo de contratos con una producción de 1 tonelada y aversión al riesgo cercana a 1.	71
Figura 15. Número óptimo de contratos con una producción de 50 toneladas y aversión al riesgo cercana a 1.	71
Figura 16. Número óptimo de contratos según el grado de aversión al riesgo. Para valores de $m=1$, $m=0.6$	72
Figura 17. Número óptimo de contratos según el grado de aversión al riesgo. Para valores de $m=1$, $m=0.3$	73
Figura 18. Ingreso con cobertura vs ingreso sin cobertura.	74

Índice de cuadros

Cuadro 1. Resultados del ajuste de curva para los coeficientes de oferta y demanda.....	62
Cuadro 2. Resultado del ajuste de curva de la media condicional del precio esperado en el mercado de futuros (Mx).	66
Cuadro 3. Resultado del ajuste de curva de la media condicional del precio spot (My).	67
Cuadro 4. Número óptimo de contratos con diferentes valores para las variables q, m.	73
Cuadro 5. Ingreso con cobertura en el mercado de futuros vs ingreso sin cobertura.	74

Cuadro de abreviaturas.

CAPM	Capital Asset Pricing Model
CECyTE	Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos
CEDRSSA	Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria
FAO	Food and Agriculture Organization
FIRA	Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura
ICE	Internacional Coffee Exchange
ICO	International Coffee Organization
PNC	Padrón Nacional Cafetalero
MexDer	Derivados Mexicanos
NYMEX	New York Mercantile Exchange
NYSE	New York Stock Exchange
TGE	Tokyo Grain Exchange
USDA	United States Department of Agriculture

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT-México) le agradezco la beca recibida durante los 2 años que duró la maestría, así como también a la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Economía Agrícola de la misma, por múltiples apoyos, congresos y financiamiento para la formación de maestros en ciencias durante la investigación.

A los campesinos cafecultores de la región de Oaxaca que me atendieron amablemente y me dieron información para desarrollar la investigación que realice.

Expreso mi profundo agradecimiento a mi amigo y tutor de tesis Dr. Gerónimo Barrios Puente, por su tiempo, instrucción y colaboración durante el desarrollo de esta investigación. Al Dr. Francisco Pérez Soto le agradezco su dedicación y valiosos aportes durante el desarrollo de este trabajo.

Al resto de los miembros del jurado de corrección de tesis y examen de grado, mi codirectora Dra. Dora Ma. Sangerman Jarquín, a mi asesor Dr. Roberto Carlos García Sánchez les agradezco profundamente su tiempo y dedicación para corregir el manuscrito final y fungir como miembros del jurado evaluador.

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la salud, vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi madre y a mi padre, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. Y a todo aquel que me haya apoyado para cumplir este objetivo.

Datos biográficos.



Datos personales

Nombre	Oscar Galván Manuel
Fecha de nacimiento	19 de octubre de 1993
Lugar de nacimiento	El duraznal Ayutla mixe, Oaxaca
No. Cartilla militar	D-4321869
CURP	GAMO931019HOCLNS00
Profesión	Ingeniero mecánico agrícola
Cédula profesional	11602279

Desarrollo académico

Preparatoria	Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos (CECyTE. Plantel 17, Ayutla Mixes Oaxaca)
Licenciatura	Universidad Autónoma Chapingo

Resumen general

Mercado de futuros de café, una opción de cobertura de precios para los productores mexicanos.

Este trabajo estima un modelo de cobertura de precios en los mercados de futuros de café para proteger los ingresos de los caficultores, ya que las fuertes fluctuaciones de los precios a nivel global afectan considerablemente a los productores mexicanos. Se analizó el comportamiento del precio spot del café y el precio en el mercado de futuros, en el periodo comprendido entre 1995 al 2020. Aplicando la teoría del movimiento browniano se estima un modelo matemático que pueda describir la trayectoria del precio del café en el mercado de futuros, posteriormente ocupando la teoría de media varianza de Markowitz en su forma más sencilla se optimiza dicho modelo para obtener el número de contratos (cortos) que el productor debería de tomar para poder beneficiarse con los movimientos del precio.

Los resultados de este trabajo se obtuvieron utilizando el software MATLAB para hacer las modelaciones y el análisis de datos que mostraron que el mercado de futuros puede ser una alternativa en la cobertura de precios. El modelo sugiere que, para productores con una aversión al riesgo cercana a cero, el tamaño de la cobertura es cero cuando los precios están muy lejos de su media condicional y va aumentando conforme esa diferencia se hace pequeña. Por otro lado, para productores con una aversión al riesgo cercana a 1, la cobertura es generalmente proporcional a la diferencia entre el precio y su media condicional.

Los resultados sugieren que los productores podrían estar motivados a la utilización de contratos de futuros como una estrategia de cobertura, ya que en los cálculos efectuados se demostró que, en un periodo largo de tiempo, aunque las ganancias no sean extraordinarias el ingreso siempre será mayor cuando se utiliza dicha cobertura que cuando no se utiliza.

Palabras clave: cobertura, mercado de futuros, riesgo, utilidad, volatilidad.

Tesis de Maestría en Ciencias, Maestría en Ciencias en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Óscar Galván Manuel

Director de tesis: Dr. Gerónimo Barrios Puente

Abstract general

Coffee futures market, a price coverage option for Mexican producers.

This paper determines a price coverage model in the coffee futures markets, since the strong fluctuations in global prices considerably affect Mexican producers. The behavior of the spot price of coffee and the price in the futures market are analyzed, in the period between 1995 and 2020. Applying the theory of Brownian movement, a mathematical model is found that can describe the trajectory of the price of coffee in the market. Of futures, later occupying the theory of mean variance of Markowitz in its simplest form, this model is optimized to obtain the number of contracts (shorts) that the producer should take in order to benefit from price movements.

The results of this work were obtained using MATLAB software to perform the modeling and data analysis that showed that the futures market can be an alternative in price coverage. The model suggests that, for producers with a risk aversion close to zero, the size of the hedge is zero when prices are far from their conditional mean and increases as this difference becomes small. On the other hand, for producers with a risk aversion close to 1, the coverage is generally proportional to the difference between the price and its conditional mean.

The results suggest that producers could be motivated to use futures contracts as a hedging strategy, since in the calculations carried out it was shown that, in the long term, although the profits are not extraordinary, the income will always be higher when they are uses such coverage than when not used.

Keywords: futures market, hedge, profit, risk, volatility.

Thesis of master in Science, Maestría en Ciencias en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Óscar Galván Manuel

Advisor: Dr.Gerónimo Barrios

Capítulo 1. Introducción general

La riqueza del suelo de México, y su privilegiada ubicación geográfica son condiciones que lo convierten en el décimo productor de café a nivel mundial, con cerca de 540 mil cafecultores en las más de 700 mil hectáreas, CEDRSEA (2018), en los estados de Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Guerrero, Tabasco, entre otros. Estas entidades producen dos grandes variedades de café: arábica y robusta. La variedad arábica es la más sembrada en todo el mundo, y en México representa 96% de la producción total.

Con datos registrados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), se sabe que, en el año 2018, el 48% de la producción mexicana de café verde se destinó al consumo interno y el 52% a exportaciones, enviando más de 28 mil toneladas al extranjero.

Hasta cierto punto el café que se cosecha en México forma un importante patrimonio agrícola para los productores, y para todos aquellos que se encuentran en la compra y venta de la materia prima, sin embargo, a finales del 2019 y principios del 2020 surge la noticia de que el café se encuentra en una grave crisis de precios, otra vez, alrededor del mundo.

En el desempeño de esta actividad agrícola y comercial, existe una alta posibilidad de obtener pérdidas, debido a los diferentes riesgos, en esta investigación solo nos enfocaremos en el riesgo por producción y precio de venta que enfrentan los productores.

El precio y la producción son las variables más importantes para el productor, puesto que de ello depende su ingreso. Desde la antigüedad (Japón, 1600 d c, FIRA (2011)) los agricultores han buscado reducir ese riesgo y desde entonces han surgido diferentes opciones de cobertura o transferencia de este, tales como los contratos futuros u opciones.

El uso de contratos en el mercado de futuros se hace con la intención de contrarrestar las eventuales pérdidas en el mercado de contado

(transferencia inmediata del producto en físico) y en algunos casos generar ganancias con la especulación del precio.

Los futuros de café tienen lugar en un mercado virtual organizado, denominado bolsa de granos, en donde se cotiza distintos tipos de café (variedad y calidad). El presente trabajo se centra en la variedad arábica, que como ya se mencionó anteriormente es la más cultivada en el país, aunque, las conclusiones pueden ser válidas en determinada proporción para los precios del café robusta.

La variedad arábica se cotiza en la bolsa de New York a través del contrato estandarizado "C". Un contrato C es un volumen fijo de negociación de café suave lavado que cumple con normas determinadas de calidad (humedad no inferior al 8% y no superior al 12%, ISO 6673.3.3), y cantidad (37,500 libras, aproximadamente 250 sacos de 69 kg), Solares (2011). El precio se pacta el día de hoy contra la entrega a futuro del físico, con lo cual el contrato queda cancelado.

En esta investigación se analiza el comportamiento del precio spot (de contado) del café y el precio en el mercado de futuros, aplicando la teoría del movimiento browniano, se estima un modelo matemático que pueda describir la trayectoria del precio del café en el mercado de futuros. Para predecir con él los posibles valores que el precio pueda tomar en determinados lapsos de tiempo, posteriormente dicho modelo es optimizado para obtener el número de contratos (cortos) que el productor debería de tomar para poder beneficiarse con los movimientos del precio, teniendo como ventaja la posesión del producto físico.

Panorama internacional del café.

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, por sus siglas en inglés FAO/FAOSTAT, la producción mundial en el ciclo 2018-2019 de café, alcanzó un máximo histórico de 174.6 millones de sacos de 60 kg de café.

Esto representa, un aumento del 10.1% respecto al ciclo 2017-2018, la razón principal de este aumento se le atribuye a Brasil y a su sobreproducción de la variedad arábica.

Desde luego, la alta producción de café en el ciclo 2018-2019 provocó un superávit con respecto al consumo, y el inventario al final del ciclo aumentó considerablemente, lo que irremediablemente se reflejó en la tendencia a la baja de los precios del café en el mercado internacional.

Por otro lado, el aumento en la oferta del café también motivó un crecimiento en el consumo a nivel mundial en el mismo ciclo 2018-2019. con 164.8 millones de sacos, lo que supone un crecimiento anual del 3.2% (FIRA, 2019).

Aunque en el ciclo 2018-2019 la demanda también aumentó, lo hizo en proporciones muchos más pequeñas que la oferta, principalmente en los mercados tradicionales y algunos emergentes.

El café en México

Con base en el registro del Padrón Nacional Cafetalero (PNC), el cultivo del café en México se desarrolla en 12 estados, 404 municipios, 4 mil 572 localidades, por 510 mil 544 productores y en 675 mil 258 hectáreas. La producción de café se agrupa en cuatro regiones (SIAP, 2014):

- Vertiente del golfo: comprende los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, México y Veracruz.
- Vertiente del océano pacífico: a esta pertenecen los estados de Colima, Guerrero, Jalisco, Nayarit y parte de Oaxaca.
- Región soconusco: integrada por una gran proporción del estado de Chiapas, destacando la producción de café orgánico, el cual es altamente demandado en los mercados norteamericanos y europeos.

- Región centro norte de Chiapas: la caficultura se practica a altitudes que van desde los 300 hasta casi los 2000 msnm en zonas que exhiben una gran variedad de climas, suelo y tipos de vegetación.

En el ciclo cafetero 2018-2019 se cosecharon aproximadamente 629 ha, 91.5% del área de cosecha se ubica en cinco estados: Chiapas (36.8%), Veracruz (20.3 %), Oaxaca (17.7%), Puebla (10.2%) y Guerrero (6.5%) (FIRA, 2019).

Pese a que la producción mundial de café se ha incrementado considerablemente, en México desde el año 2007, la superficie cosechada de café ha mantenido una tendencia a la baja y según el boletín informativo de FIRA, en el ciclo 2018-2019 se presentó el nivel más bajo de producción desde el ciclo de 1989-1990. Seguramente, la razón principal de este acontecimiento es debido a que los productores están abandonando la labor de cosecha y cambiando de rubro en busca de mejores oportunidades.

En el ciclo 2018-2019, las exportaciones que México realizó solo representaron el 2.1%, FIRA (2019) de las exportaciones mundiales. Llegando a ocupar el puesto número 12 entre los países exportadores. En ese ciclo se exportaron cerca de 2.91 millones de sacos, FIRA (2019) y se importaron 1.67 millones de sacos, FIRA (2019) de Café en verde. Por tanto, se registró un excedente de 1,2 millones de sacos de 60 kg.

Las exportaciones de café de México se envían principalmente a Estados Unidos de América, Bélgica, España, Alemania, Canadá, Cuba y Japón.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) predice que las exportaciones de México en los siguientes años pueden aumentar en un 15.0%. ocasionando que las importaciones disminuyan en un 5.4%.

Precios de referencia.

La Organización Internacional del Café, por sus siglas en inglés ICO, es la encargada de calcular los precios de los cuatro tipos de café (colombiano suave, otro suave, brasileño natural y robusta; los tres primeros corresponden a la variedad arábica) comercializados en el mercado internacional.

Basándose en la oferta disponible en cada ciclo productivo, la Organización Internacional del Café estima un precio indicativo compuesto, considerado el referente de los precios del café en el mercado Internacional.

A partir de 1980 los precios del café registraron una alta volatilidad que se vio reflejada en la caída de estos desde 1997 y que alcanzaron niveles históricos mínimos en 2002. Esta crisis cafetalera parece ser de carácter estructural ya que en 2002 se presentaron precios mínimos por razones de la sobreproducción mundial, evidenciada en la intensificación de la competencia entre países productores de café como Brasil y Vietnam y el estancamiento en el consumo, lo que generó una acumulación de inventarios cuyo efecto directo fue la caída de los precios, (Varangis et al., 2004).

El precio medio que la Organización Internacional del Café registró para el ciclo 2018-2019 fue de 2,215 dólares por tonelada, es decir 100.5 centavos de dólar por libra, el segundo nivel más bajo desde el ciclo 2005-2006, cuando el precio promedio fue 2,016 dólares por tonelada o 91.4 centavos de dólar por libra.

Actualmente el precio del café en México se rige con base en el contrato “C”, (especificado anteriormente) en la bolsa de New York, NYSE, por sus siglas en inglés. En dicho mercado, la cotización del café arábica producido en México sigue la misma tendencia que el precio indicativo compuesto de la Organización Internacional del Café, y en particular del grupo “otros suaves”.

Así, según registros de tradinview (Plataforma de cotización), la cotización promedio del café arábica en Nueva York durante el ciclo comercial 2018-2019 se ubicó en 2,451 dólares por tonelada, lo que significó una disminución anual de 8.9 % y su segundo nivel más bajo desde el ciclo comercial 2005-2006.

Antecedentes

En sus inicios, el mercado de futuros no tenía mucha relevancia, sin embargo, en el transcurso del tiempo empezó a despertar un interés entre los profesionales en finanzas, quienes veían una oportunidad de arbitraje en dicho mercado. Esto despertó el interés del estudio del mercado de futuros y del mercado de valores en general por parte de renombrados economistas desde la década de 1970. En dicho período se publicaron algunos trabajos muy relevantes en el área de finanzas. Por ejemplo, los trabajos de Merton y Scholes (1973) que fueron galardonados con el premio nobel.

No se sabe exactamente donde nació el primer mercado de futuros, sin embargo, varias citas en internet coinciden que el primer mercado organizado de futuros se abrió en Japón a inicios del siglo XVIII y la principal mercancía que comerciaba era el arroz, cuyas fluctuaciones de precio eran considerables y ponían en riesgo el ingreso de los productores de aquellas épocas.

Por esa razón, los comerciantes de arroz se organizaron con los compradores para garantizar un precio por su producto antes de ser cosechado. Y es así como diseñaron en 1730, Gonzales (2007), un moderno y estable sistema de mercado a futuro, el primero en el mundo, denominado cho-ai-mai (mercado de arroz a plazo).

Años después este moderno sistema siguió creciendo y expandiéndose por el mundo, y en 1898, Gonzales (2007), en Estados Unidos de América se inaugura el Chicago Butter and Egg Board, que posteriormente evoluciona hasta convertirse en el Chicago Mercantile Exchange, que actualmente es la

bolsa de derivados financieros más grande del mundo, negociando en ella derivados agropecuarios, divisas, energía, tipos de interés, metales, etc.

Siguiendo la historia, el mercado de futuros de café en los Estados Unidos de América se estableció en 1882, Gonzales (2007), cuando los comerciantes crearon el New York Coffee Exchange, que posteriormente evolucionó a Coffee, Sugar and Cocoa Exchange.

El objetivo principal del New York Coffee Exchange era que el comercio de café se pudiera llevar a cabo de una forma más ordenada y transparente. En la actualidad existen varias bolsas alrededor del mundo donde se pueden negociar futuros de café, por ejemplo, New York Mercantile Exchange (NYMEX), Intercontinental Exchange (ICE) y Tokyo Grain Exchange (TGE), por mencionar algunos.

En México, el encargado de los futuros es MexDer (derivados mexicanos) el cual forma parte del grupo Bolsa Mexicana de Valores, iniciando operaciones el 15 de diciembre de 1998, Wikipedia (2019). Sin embargo, cabe mencionar que a la fecha en MexDer no se comercian futuros agropecuarios; es decir, no podemos encontrar futuros de café en el mercado nacional.

Como se mencionó anteriormente, la razón principal por la que nació el mercado de futuros fue esencialmente para utilizarlo como una forma de “cobertura de riesgo”. Esta cobertura ha sido estudiada desde tiempo atrás, y dichos estudios han resultado en teorías y modelos de coberturas. Una de las coberturas más simple es la conocida como “tradicional”. El objetivo de esta cobertura consiste simplemente en tomar una posición en el mercado de futuros de la misma magnitud, pero de signo contrario a la mantenida en el activo que se intenta cubrir, es decir, mantienen una relación 1:1.

Otra teoría de cobertura es la llamada maximización del beneficio. Esta teoría de cobertura nace a partir del trabajo de Working (1953). En esta cobertura el objetivo no es únicamente la disminución del riesgo, sino también al mismo tiempo se busca un aumento del beneficio.

Justificación

La producción de café en México es una de las principales actividades agrícolas, sin embargo, los productores de café están abandonando esta labor y buscando nuevas alternativas de empleo, la razón principal es que el precio que reciben por su producto enfrenta una problemática seria que desincentivan la inversión en este sector que emplea a más de 500 mil productores, SADER (2020).

Sin embargo, se puede observar que el precio comercial del café procesado mantiene una tendencia alcista, y que el producto final tiene demanda. Con cifras del SIAP se encontró que para 2019 el precio pagado al productor por la café cereza fue de 5 pesos por kilo, mientras que en su forma final de grano previo al tostado (precio libre a bordo a pie de bodega) fue de 45 pesos.

El precio en anaquel al consumidor final de café no soluble oscila entre los 80 y 90 pesos/kilo, dependiendo de su calidad y origen. El problema es para la materia prima que los productores tienen que entregar a acaparadores o a grandes transnacionales a un precio relativamente muy bajo a los precios anteriormente mencionados.

Otro elemento que impacta directamente a los productores de café en México es que desde 1990, Gonzales (2007), el precio de este grano en nuestro país se rige por las cotizaciones en la bolsa de Nueva York, lo que provoca que a pesar de que una menor producción interna pudiera incrementar el precio, esto no suceda cuando la producción mundial aumenta.

Por estos motivos surge esta investigación acerca del mercado de futuros de café, para valorar si es rentable o posible que los productores puedan ocupar esta herramienta a su favor.

Planteamiento del problema

México es un importante exportador de café, en los últimos años (2015 a 2020) los precios internacionales del café han sufrido fuertes fluctuaciones, con marcada tendencia a la baja, derivado de múltiples factores. Esta volatilidad afecta a los productores de café y a las cooperativas exportadoras. A mayor fluctuación en los precios internacionales del café, mayores son los riesgos para los productores y para todos aquellos que estén en el negocio de la compra y venta de café.

Hipótesis

1. El mercado de futuros de café reduce el riesgo económico de los productores en el mercado spot.
2. El uso del mercado de futuros de café y del mercado spot incrementa el ingreso final del productor.
3. Si la producción q es pequeña el mercado de futuros no es una opción viable para el productor.

Objetivo general.

Estimar un modelo de cobertura en el mercado de futuros de café para utilizarlo como herramienta de predicción ante las fluctuaciones de los precios.

Objetivos específicos.

- Modelar el comportamiento del precio del café en el mercado de futuros.
- Modelar el comportamiento del precio del café en el mercado de contado.
- Estimar el modelo de cobertura.

Capítulo 2. Revisión de literatura

Anteriormente ya se había estudiado el mercado de futuros como opción de cobertura o transferencia de riesgo de distintos commodities a nivel internacional. Por ejemplo: Gutiérrez, (2018) nos habla de la predicción de las razones de cobertura cruzada óptima en el mercado del petróleo mexicano. Evalúa el desempeño de 4 modelos GARCH bivariados y el método de mínimos cuadrados ordinarios para predecir las razones de cobertura cruzada de mínima varianza del petróleo mexicano en el periodo comprendido del 2000 al 2015. En el estudio se empleó el modelo convencional de mínimos cuadrados y los modelos GARCH bivariados DVCEC sin y con términos de corrección de error. El ejercicio de las predicciones de las RCCO (Razones de cobertura cruzada optima) se desarrolla mediante el procedimiento de ventana móvil y en el desempeño productivo de los diferentes modelos de cobertura se aplica la prueba de poder predictivo superior de Hansen, usando diferentes horizontes de cobertura de 1 a 60 días. Otro trabajo interesante es la revisión del modelo GARCH en la modelación de la volatilidad y pronóstico del precio del café en las que se dan algunas propiedades del proceso con sus demostraciones. Además, se presenta una aplicación a los modelos ARIMA-GARCH, considerando el precio del café desde el 2 de enero del 2002 hasta 17 de abril del 2006, Ramírez (2006). De igual manera, se muestra el modelo de predicción más acertado para estimar el precio y la volatilidad esperada del café; con el objetivo de encontrar la mejor alternativa en la venta o compra de este producto en el futuro, buscando tener la estrategia ideal a llevarse a cabo dentro del negocio de un caficultor y lograr, de esta manera, una competencia ideal a escala mundial.

En Colombia se han desarrollado trabajos de modelos de tiempo continuo para commodities agrícolas que abordan los procesos de Wiener y del movimiento browniano geométrico, para modelar el precio de un contrato de futuros, libre de arbitraje, $f(t, T)$ y de un activo con proceso de precio S_t que se entregará en una fecha T (Cárcamo, 2018).

Otro tema importante para destacar es la volatilidad de los precios de los commodities de los productos agrícolas, existen trabajos que exploran la relación entre la volatilidad del precio spot y el de los mercados financieros y presentan modelos econométricos para evaluar cuáles serían los principales determinantes de la volatilidad para un grupo de commodities agrícolas (Doporto y Michelena, 2011).

La teoría del almacenamiento y la dinámica de precios de los futuros de productos básicos agrícolas: caso del maíz y el trigo. Es un trabajo en el cual se prueba una implicación de la teoría del almacenamiento, de que los fundamentos de la oferta y la demanda afectan la dinámica del precio de los productos agrícolas. También se prueba la hipótesis de Samuelson (1983), que los precios al contado tienen una mayor volatilidad que los precios de futuros (Perales, 2010).

En un artículo titulado “Modelos Estocásticos Para el Precio Spot y del Futuro de Commodities con Alta Volatilidad y Reversión a la Media”, García de la Vega y Ruiz (2009). Desarrollan fórmulas basadas en el modelo propuesto por Ronn y Tompaidis (2004), para obtener el precio spot de los commodities (maíz, soya, trigo, petróleo, etc.) del futuro, y el valor de “call” europeo sobre el spot y sobre el futuro, en un mundo real y en un mundo neutral al riesgo, utilizando el modelo de un factor de un proceso de Ornstein-Uhlenbeck.

Otra investigación menos reciente data en un artículo en la revista de economía aplicada, titulado “Cobertura con contratos de futuros”, Aragón y Ángeles (2002). En este trabajo estudian el dinamismo del ratio de cobertura de mínima varianza (RCMV) con contratos de futuros sobre el índice bursátil IBEX-35. Basándose en los trabajos de Myers (1991), Kroner y Sultan (1991, 1993)) proponen un modelo GARCH bivalente con corrección de error. En las conclusiones destacan que la existencia de heterocedasticidad condicional y de relaciones de cointegración entre las series de contado y futuro sobre el índice bursátil IBEX-35, han sido consideradas para estimar una regla de cobertura dinámica en la que el inversor incorpora la llegada de

nueva información al mercado a través de la utilización de un modelo GARCH bivalente, con mecanismo de corrección de error, y en el que se consideran tres modelizaciones alternativas de los momentos condicionales de segundo orden.

Respecto al movimiento browniano aplicado a las finanzas, hay varios artículos interesantes dentro de los cuales desataca un estudio empírico sobre el tipo de cambio MXN/USD. En el cual contrastan los movimientos extremos del tipo de cambio siguiendo la teoría del movimiento browniano geométrico versus un proceso varianza-gamma que permite capturar el sesgo y el exceso de curtosis de los rendimientos del tipo de cambio (Mosiño et al.,2018).

Teorías económicas y conceptos financieros.

Modelo CAPM.

El modelo de valoración de activos financieros, por sus siglas en ingles CAPM, es un modelo utilizado en la economía financiera para estimar la tasa de rendimiento teóricamente esperada para un cierto activo, si este es utilizado en una cartera de inversión diversificada, el modelo considera la sensibilidad del activo al riesgo de mercado o sistémico, representado por el símbolo de beta (β), así como también el retorno esperado del mercado y el de un activo teóricamente libre de riesgo(Montero,2016).

Por medio del modelo de valoración de activos financieros (CAPM) es posible calcular el riesgo de mercado de un activo. Dicho riesgo está compuesto por el riesgo sistémico y el riesgo específico, mismos que en conjunto forman el riesgo total, es decir (Montero, 2016):

$$E(R_i) = R_f + \beta_i[E(R_m) - R_f]$$

Donde:

$E(R_i)$: Rendimiento esperado del Activo i.

$E(R_m)$: Rendimiento esperado del mercado.

Rf: Renta fija.

β_i = Coeficiente que mide los cambios en R_i en función de las variaciones de R_m .

$\beta_i = \text{Cov}(R_i, R_m) / \text{Var}(R_m)$.

Teoría de carteras.

La teoría de carteras estudia cómo construir carteras que maximicen la utilidad esperada del inversor y diversifiquen el riesgo de este, se trata de una forma de diversificar el riesgo de una manera eficiente. Para esto se debe tener en cuenta el riesgo de los diferentes activos y como se correlacionan entre ellos, si se mueven en el mismo sentido o no. El riesgo y rentabilidad de un activo no tienen tanta importancia por sí mismos sino por como contribuyen al riesgo y la rentabilidad de una cartera.

El riesgo.

Para construir una cartera eficiente se tiene que estimar la volatilidad de cada clase de activos y la correlación entre estas clases. Esta volatilidad es el equivalente al riesgo o la desviación estándar. La volatilidad se define como la variabilidad de la rentabilidad de una acción respecto a su media en un periodo de tiempo determinado (Montero, 2016).

La rentabilidad.

Para cada clase de activo, se debe estimar una rentabilidad esperada, o, mejor dicho, la esperanza matemática de esos rendimientos. Para esto no es recomendable ocupar medias históricas de corto plazo, sino que se recomienda usar datos históricos de largo plazo (años o décadas) o mejor y más complejo, usar las primas de riesgo a largo plazo y añadir estas a la tasa libre de riesgo actual (Díaz, 2018).

La frontera eficiente.

Teniendo la rentabilidad y el riesgo, lo que se hace es trazar o crear la asignación de activos que nos darían la mayor rentabilidad posible para un

determinado nivel de riesgo. La llamada frontera eficiente iría de la cartera de mínimo riesgo a la de máxima rentabilidad, y la cartera que se elija debe de estar en algún punto de esa frontera. Cualquiera de esas carteras se consideraría eficiente, al maximizar la rentabilidad para un determinado nivel de riesgo.

Lo esperable sería que los inversores eligieran la cartera que le permita conseguir una mayor rentabilidad ajustada al riesgo. Esta cartera es la que aparece cuando la llamada línea de asignación de activos o línea de mercados de capitales es tangente a la frontera eficiente como lo muestra la Figura 1.

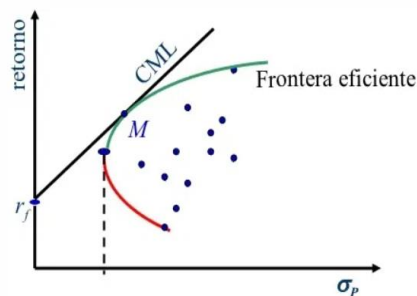


Figura 1. Curva de frontera eficiente. (Peña,2013).

Modelo de Markowitz.

También conocido como modelo media-varianza o modelo de Markowitz, es una teoría sobre la inversión en los mercados financieros sustentada en una serie de supuestos de partida tales como la aversión al riesgo de los inversores, mercados de capitales perfectos, la aleatoriedad de la rentabilidad de las inversiones, etc.

El criterio media-varianza, como su propio nombre indica, se basa en la selección de las oportunidades de inversión con base en su rentabilidad esperada (media) y su riesgo (varianza). En este sentido, se pretende elegir aquellas combinaciones de activos o carteras que presenten la mayor rentabilidad esperada dado cierto nivel de riesgo y el menor riesgo para un determinado nivel de rentabilidad esperada.

Por otro lado, este análisis también provee una justificación rigurosamente matemática de la máxima de inversión consagrada a lo largo del tiempo, de que la diversificación es una estrategia razonable para los sujetos que desean reducir el riesgo.

Markowitz (1952) desarrolla su modelo sobre la base del comportamiento racional del inversor. Es decir, el inversor desea la rentabilidad y rechaza el riesgo. Por lo tanto, para él una cartera será eficiente si proporciona la máxima rentabilidad posible para un riesgo dado, o de forma equivalente, si presenta el menor riesgo posible para un nivel determinado de rentabilidad. El conjunto de carteras eficientes puede calcularse resolviendo el siguiente programa cuadrático paramétrico (López, 2019):

$$\text{Min } \sigma^2(R_p) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i \cdot x_j \sigma_{ij}$$

$$s/a$$

$$E(R_p) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot E(R_i) = V^*$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1 \quad x_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Donde: x_i es la proporción del presupuesto del inversor destinado al activo financiero i e incógnita del programa, $\sigma^2(R_p)$; la varianza de la cartera p ; y σ_{ij} , la covarianza entre los rendimientos de los valores i y j . $E(R_p)$, es la rentabilidad o rendimiento esperado de la cartera p , de tal forma que al variar el parámetro V^* se obtendrá en cada caso, al resolver el programa, el conjunto de proporciones x_i que minimizan el riesgo de la cartera, así como su valor correspondiente. El conjunto de pares $[E(R_p), \sigma^2(R_p)]$ o combinaciones rentabilidad-riesgo de todas las carteras eficientes es denominado «frontera eficiente». Una vez conocida esta, el inversor, de acuerdo con sus preferencias, elegirá su cartera óptima.

Teoría del precio de almacenamiento.

La teoría del almacenamiento describe las características observadas en los mercados de productos básicos (commodities). Estas características se pueden clasificar en 2:

1. Cuando los niveles de inventario disponibles (oferta) del producto son altos, los compradores de ese producto mantienen sus niveles de suministro al mínimo, en esta situación se observa las siguientes características, (Wikipedia, 2021):
 - Los precios de futuros tienden a estar en “aplazamiento de pago” (Coloquialmente nombrado en inglés como contango), esto significa que los precios futuros se cotizan por encima del precio spot esperado. Precio al contado < precio de futuros, $S(t) < F(t, T)$.
 - La volatilidad de los precios al contado y de futuros tiende a ser baja, y las primas de futuros aumentan hasta el costo total de almacenamiento.
2. Cuando los suministros son escasos y los gerentes de compras crean niveles de inventario de producción para garantizar la disponibilidad,
 - Los precios de los futuros tienden a “retroceder” (backwardation), significa que los precios de los futuros se negocian por debajo del precio spot esperado. Precio al contado > precio de futuros, $S(t) > F(t, T)$.
 - La volatilidad de los precios de futuros cercanos aumenta en comparación con la volatilidad de los precios de futuros a largo plazo.

Esta teoría fue desarrollada y descrita originalmente por Working, (1933). Fue ampliada por Kaldor, (1939) quien introdujo la noción de rendimiento por conveniencia, y Brennan, (1958) estimó las curvas de oferta y demanda para el almacenamiento.

Los trabajos hechos por los autores antes mencionados se centran en:

- los costos de almacenamiento.
- los motivos de la tenencia de acciones en el mercado físico.
- la función de descubrimiento de precios de los mercados de futuros.

Teoría de expectativas racionales.

La teoría de las expectativas racionales es una hipótesis de la economía que establece que las predicciones sobre el valor futuro de las variables económicas que hacen los agentes no son errores sistemáticos y que estos errores son aleatorios, Wikipedia (2021). En otras palabras, es que las expectativas racionales son "expectativas consistentes en torno al modelo"; es decir, en el modelo, el sujeto cree que las predicciones del modelo son efectivas.

En otras palabras, aunque el futuro no es completamente predecible, se puede asumir que las expectativas de los agentes no están sesgadas sistemáticamente y que utilizan toda la información relevante para formarse sus expectativas sobre las variables económicas.

La teoría de expectativas racionales define este tipo de expectativas como la mejor suposición del futuro (el pronóstico óptimo) que utiliza toda la información disponible. Por lo tanto, se supone que los resultados que se pronostican no difieren sistemáticamente de los resultados de equilibrio del mercado. Como resultado, las expectativas racionales no difieren de manera sistemática o predecible de los resultados de equilibrio.

Es decir, asume que las personas no cometen errores sistemáticos al predecir el futuro y que las desviaciones de la previsión perfecta son solo aleatorias. En un modelo económico, esto se modela típicamente asumiendo que el valor esperado de una variable es igual al valor esperado predicho por el modelo (Wikipedia, 2021).

La teoría de las expectativas racionales fue planteada inicialmente por John F. Muth en 1961, y tiempo después fueron desarrolladas por Lucas, Sargent

y otros. El uso de expectativas racionales tuvo un impacto en la forma en que se formula las políticas. Sargent plantea que los agentes se adaptan a las políticas; es decir, que los coeficientes de las ecuaciones dinámicas no dependen solo de parámetros estructurales (gustos, tecnología, etc.) sino también de reglas de políticas seguidas por el gobierno, por lo que, si se cambian las reglas de política cambia la conducta de los agentes, Navalpotro (2003).

Las expectativas que el agente desarrolla con la información del pasado, podría decirse que es idéntica a la mejor estimación del futuro, ya que utiliza toda la información disponible. Entonces, se puede suponer que los resultados pronosticados no pueden diferir sistemáticamente del mercado de equilibrio.

Por ejemplo, suponga que P es el precio de equilibrio en un mercado simple, determinado por la oferta y la demanda. La teoría de las expectativas racionales dice que el precio real solo se desviará de la expectativa si hay un 'shock de información' causado por información imprevisible en el momento en que se formaron las expectativas. En otras palabras, se anticipa que ex ante el precio igualará su expectativa racional (Wikipedia, 2021):

$$P = P^* + \varepsilon$$

$$E[P] = P^*$$

Donde: P^* (Precio de equilibrio) es la expectativa racional y ε es el término de error aleatorio, que tiene un valor esperado de cero y es independiente de P^* .

El modelo de Muth.

El modelo de Muth describe el comportamiento del precio en el mercado de bienes, oferta y demanda, y se expresa como se muestra a continuación:

$$D_n = \mu - \beta P_n \quad \text{Demanda.}$$

$$O_n = \gamma P_n^e + K + U_n \text{ Oferta.}$$

Donde:

- γ, K, μ y $\beta > 0$
- U_n se describen como variables aleatorias gaussianas.

En este modelo Muth supone que el agente conoce el valor teórico de las variables endógenas, además el agente revisa sus variables exógenas pasadas, presentes y futuras (Navalportro, 2003).

Como se sabe el equilibrio en economía se obtiene cuando la cantidad demandada es igual a la cantidad ofrecida, $D_n = O_n$, bajo este criterio tenemos que:

$$\mu - \beta P_n = \gamma P_n^e + K + U_n$$

De donde si despejamos P_n , tenemos que:

$$P_n = \frac{\mu - k}{\beta} - \frac{\gamma}{\beta} P_n^e - \frac{1}{\beta} U_n.$$

Esta expectativa de precios puede ser modelada de distintas formas, para nuestro caso de estudio se modelará acorde a la teoría de las expectativas racionales.

Teniendo en cuenta que P_n^e representa la esperanza del precio en n-1, se puede escribir como, $E[P_n/f_{n-1}] = E_{n-1}P_n = P_n^e$, sustituyendo esta parte en la ecuación original tenemos que:

$$P_n = \frac{\mu - k}{\beta} - \frac{\gamma}{\beta} E[P_n/f_{n-1}] - \frac{1}{\beta} U_n$$

Ahora bien, si se tomara la expectativa en el periodo n-1, se tiene que

$$E[P_n/F_{n-1}] = \frac{\mu - k}{\beta + \gamma}$$

Ya que

$$E[U_n/F_{n-1}] = 0$$

El error de predicción es:

$$\varepsilon_n = P_n - P_n^e = -\frac{U_n}{\beta}$$

EL mercado de futuros.

La bolsa de valores o a lo que también llamamos mercado de valores, son un conjunto de instituciones y agentes financieros, que se dedican a negociar los distintos tipos de activos que hay en el mercado (acciones, índices, futuros, etc.). El objetivo del mercado de valores es coadyuvar a que se muevan los capitales, para conseguir una estabilidad financiera y monetaria (IG, 2021).

En estos mercados los agentes intercambian activos entre sí, por medio de los intermediarios usando instrumentos desarrollados para el intercambio. De esta forma facilitan la transparencia de cualquier ciudadano a realizar operaciones de compra o ventas de valores. Una de las características de los mercados de valores, es que fijan los precios de los activos en el orden de la oferta y la demanda de estos.

El mercado de valores se puede dividir entre el mercado primario y secundario, Wikipedia (2021), cada valor en ellos tiene unos tipos de contratación y negociación distinta:

- El mercado primario, es aquel en el que los valores negociables salen al mercado y son emitidos por primera vez.
- Mercado secundario, es el mercado en el cual se compran y se venden valores que ya han sido emitidos y vendidos en el mercado primario, estas operaciones se pueden hacer de forma directa o a través de intermediarios financieros.

El mercado primario este regulado principalmente por dos órganos, la Dirección General del Tesoro y Política Financiera (DGTPF) y la Comisión Nacional del Mercado de Valores (CNVM).

Contratos de futuros.

Un contrato de futuros es un acuerdo para comprar o vender un activo en una fecha específica en el futuro a un precio determinado (Hull, 2009).

Existen muchas bolsas de valores en todo el mundo que negocian contratos de futuros, a continuación, se mencionan algunas, la Bolsa de Comercio de Chicago (www.cbot.com) y la Bolsa Mercantil de Chicago (www.eme.com) son las dos bolsas de futuros más grandes de Estados Unidos de América. Las dos bolsas más importantes de Europa son Euronext (www.euronext.com), la cual se fusionó con la Bolsa de Valores de Nueva York (www.nyse.com) en 2006 y Eurex (www.eurexchange.com), copropiedad de la Deutsche Börse (Bolsa alemana) y la Bolsa suiza. (Wikipedia,2021).

Características de los futuros.

Todo contrato de futuros tiene las siguientes características normalizadas:

1.- Valor nominal del contrato, se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$VN = \text{Cotización} * \text{Valor por punto}$$

Valor por punto. Es el multiplicador del contrato de futuros.

2.- Tamaño del tick, es la variación mínima en la cotización de un contrato de futuros.

3.- Garantías exigidas por contrato, son las garantías exigidas para cubrir el riesgo de mercado y poder operar sobre el futuro.

4.- Vencimiento, puede ser mensual o trimestral. A este vencimiento se le conoce como Roll Over.

Tipos de contratos de futuros.

Los contratos de futuros permiten la introducción de posiciones largas y posiciones cortas. Existen los siguientes tipos de futuros en función del activo subyacente al que replican:

- Divisas
- Materias primas
- Acciones
- Metales
- Índices bursátiles

Cámara de compensación.

Las cámaras de contrapartida o cámara de compensación intermedian entre compradores y vendedores, siendo responsable de todas las operaciones que realizan los operadores o inversores. La cámara de compensación no se posiciona en el mercado, ya que se encarga de garantizar la contrapartida entre compradores y vendedores, su posición neta en el mercado es neutral, (Vargas, 2018).

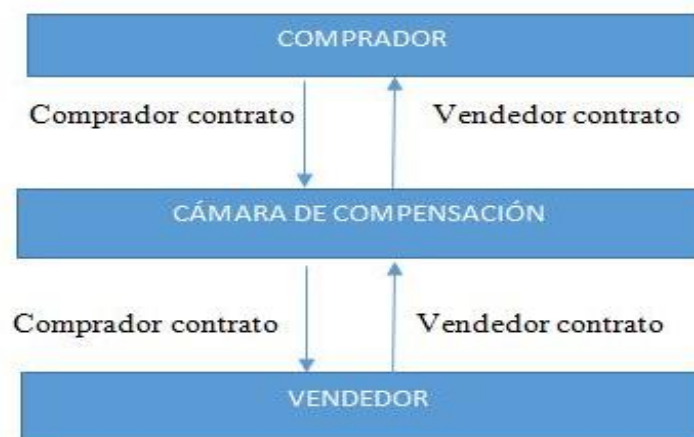


Figura 2. Función de la cámara de compensación.

El economista, 2020. Recuperado de <https://www.eleconomista.es/diccionario-de-economia/camara-de-compensacion>.

Funcionamiento de los futuros.

Los contratos de futuros se componen principalmente de las siguientes partes:

- Especificación del producto: la cantidad y la calidad de cada contrato es siempre la misma.
- Precio: se establece en el momento de la formalización del contrato.
- Fecha y sistema de liquidación: fecha de la entrega del producto y el modo en el que se realiza la entrega del dinero.

Por supuesto, no todos los mercados tienen los mismos contratos de futuros y aun siendo los mismos no tienen por qué tener las mismas características. La manera de comprar/vender un futuro, por lo general siempre es la misma. Los individuos envían una orden de compra/venta al bróker, las órdenes pueden ser de mercado (la orden se cierra al instante) o de límite (se especifica un precio y la operación solo se realiza si se llega al mismo) y los brokers pueden ser comisionistas (operan por cuenta de otros) o locales (operan por su propia cuenta).

Valoración de un futuro.

El valor de un contrato a plazo al momento de iniciarlo es de cero. En una etapa posterior puede tener un valor positivo o negativo. Supongamos que F_0 es el precio a plazo actual de un contrato que se negoció hace algún tiempo, la fecha de entrega es T años a partir de hoy y r es la tasa de interés libre de riesgo a T años. Entonces:

Se define:

K : precio de entrega en el contrato.

f : valor del contrato a plazo hoy.

Un resultado general, aplicable a todas las posiciones largas en contratos a plazo que pagan ingresos (tanto sobre activos de inversión como de consumo), es:

$$f = (F_0 - K)e^{-rT} \text{ (Hull, 2009).}$$

Por lo tanto, el valor de un contrato sobre un activo de inversión que no genera ingresos es:

$$f = S_0 - Ke^{-rT} \text{ (Hull, 2009).}$$

Precios de futuros y precios spot esperados.

Se conoce como precio spot esperado a la opinión promedio del mercado sobre cuál será el precio de un activo en determinado tiempo. A modo de ejemplo, supongamos que el precio de los futuros de café para septiembre del 2021 es de 1.20 dólares por libra. Es más que obvio plantearse la siguiente interrogativa ¿cuál es el precio spot esperado del café en septiembre? Si el precio spot esperado es menor a \$ 1.20, el mercado debe estar esperando que el precio de futuros de septiembre disminuya de modo que los negociantes con posiciones cortas ganen y los negociantes con posiciones largas pierdan. Si el precio spot esperado es mayor a \$1.20, lo contrario debe ser lo cierto. El mercado debe estar esperando que el precio de futuros de septiembre aumente de tal manera que los negociantes con posiciones largas ganen y los negociantes con posiciones cortas pierdan.

Los renombrados economistas Keynes y Hicks, (1939) argumentaban que, si los coberturistas tienden a mantener posiciones cortas y los especuladores a mantener posiciones largas, el precio de futuros de un activo estará por debajo del precio spot esperado.

Esto se debe a que los especuladores requieren una compensación por los riesgos que asumen. Negociarán sólo si pueden ganar dinero en promedio. Los coberturistas perderán dinero en promedio, pero están dispuestos a aceptar esto porque el contrato de futuros reduce sus riesgos. Keynes y Hicks argumentaban que, si los coberturistas mantienen posiciones largas en tanto que los especuladores posiciones cortas, el precio de futuros estará por arriba del precio spot esperado por una razón similar (Hull, 2009).

Convergencia del precio de futuros con el precio spot.

A medida que se acerca el mes de entrega de un contrato de futuros, el precio del futuro generalmente se acercará o igualará al precio spot a medida que avance el tiempo. Esta es una tendencia muy fuerte que ocurre independientemente del activo subyacente del contrato. Esta convergencia puede explicarse fácilmente por el arbitraje y la ley de la oferta y la demanda.

Para ver por qué ocurre esto, supongamos primero que el precio de futuros está por arriba del precio spot durante el periodo de entrega. Entonces, los negociantes tienen una clara oportunidad de arbitraje (Hull, 2009):

- 1.- Vender (es decir, vender en corto) un contrato de futuros.
- 2.- Comprar el activo.
- 3.- Realizar la entrega.

Estos pasos son seguros para generar una utilidad equivalente al monto en que el precio de futuros excede al precio spot. A medida que los negociantes aprovechen esta oportunidad de arbitraje, el precio de futuros bajará. A continuación, podemos suponer que el precio de futuros está por debajo del precio spot durante el periodo de entrega. Entonces las empresas que están interesadas en adquirir el activo considerarán conveniente comprar un contrato de futuros y esperar a que se realice la entrega. Al hacerlo, el precio de futuros tenderá a subir.

El resultado es que el precio de futuros está muy cercano al precio spot durante el periodo de entrega como lo ilustra la Figura 3.

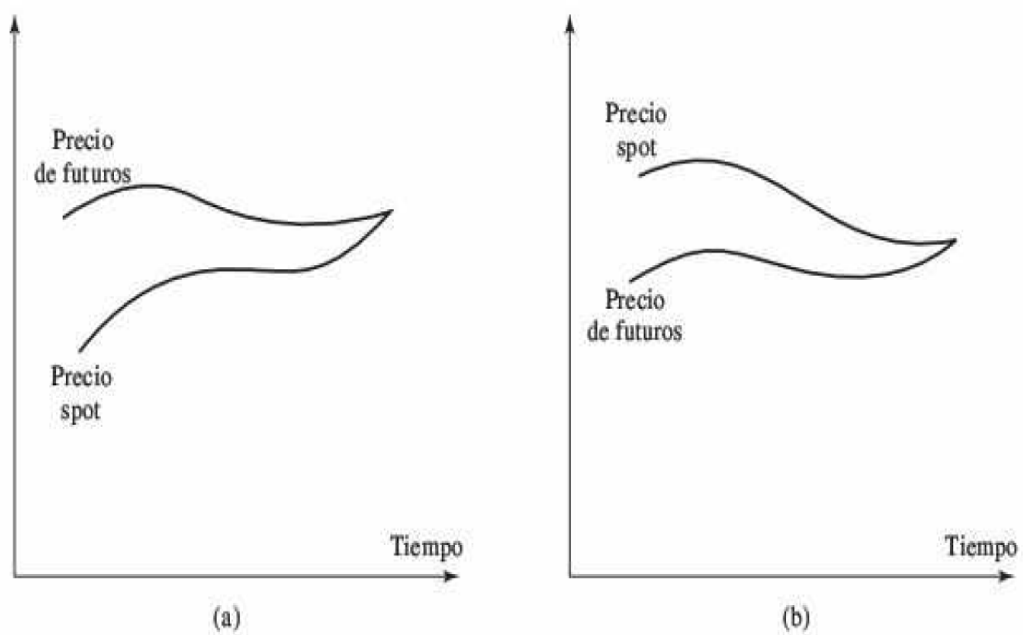


Figura 3. Relación entre el precio de futuros y el precio spot a medida que se aproxima el mes de entrega: a) Precio de futuros por arriba del precio spot; b) Precio de futuros por debajo del precio spot (Hull,2009).

Literatura citada.

Aragó, V. y Ángeles, Ma. (2002). Cobertura con contratos de futuros. España. Revista de economía aplicada. 28(10):39-62.

Black, F. and Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities.EE.UU.Journal of political economy.3(81):637-654.

Carcamo, U. C. (2008). Modelos de tiempo continuo para commodities agrícolas en colombia.Colombia. Ad-minister. 11(1):42-63.

Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA). 2018.El café en México diagnóstico y perspectiva. México, D. F. 3-15 pp.

Díaz, S. J. (2018).Teorias de carteras. España.Consultado en: <https://ahorrainvierte.com/la-teoria-de-carteras-o-como-se-construyen-las-carteras-de-inversion/>.

Doporto, I. M. y Michelana, G.(2011). La volatilidad de los precios de los commodities en el caso de los productos agricolas.Centro de Economia Internacional (CEI) del ministerio de Relaciones Exteriores y Culto de la Nacion, numero 19.

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura(FIRA). 2011. Mercado de futuros y Opciones.México.Fira boletin.11(1):6-7pp.

Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). 2019. Panorama agroalimentario,café. México, D.F. 5-22pp.

Forum cultural del Café(ForumCafe). 2019. Mercado de futuros del café: Condicionantes, mecánica y resultados. España.ForumCafe 83,5-9.

Garcia de la Vega, V.M. y Ruiz, A. (2009). Modelos Estocasticos para el Precio Spot y del Futuro de Commodities con Alta Volatilidad y Reversion a la Media.México. Revista De Administracion, Finanzas Y Economia.2(3):1-24.

González, R. 2007. Los mercados financieros.México. Financialred.Consultado en: <https://www.losmercadosfinancieros.es/historia-de-los-mercados-de-derivados.html>.

Gutiérrez, R.(2018). Predicción de las razones de cobertura cruzada optima en el mercado del petróleo mexicano.México. Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF.1(13):48-67.

Hull, J. C. (2009). Introduccion a los Mercados de futuros y opciones. México: Pearson educacion.

IG GROUP, A. 2021. Mercado de valores. España. Consultado en: <https://www.ig.com/es/glosario-trading/definicion-de-mercado-de-valores>.

López, J. F. (2019). Modelo de markowitz. México. consultado en : <https://economipedia.com/definiciones/modelo-de-markowitz.html#:~:text=As%C3%AD%20pues%2C%20en%201952%20Markowitz,la%20diversificaci%C3%B3n%20sobre%20este%20%C3%BAlto>.

Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection.EE.UU. The journal of finance.1(7):77-91.

Montero, C. (2016). Modelos practicos de administración de riesgos. Mexico: Ediciones Fiscales ISEF.

Mosiño, A.; Salomón, L.A. y Tatsuo, A. (2019). Estudio empírico sobre el tipo de cambio MXN/USD: movimiento browniano geométrico versus proceso varianza-gama. México. EconoQuantum. 1(16).

Navalpotro, J. S. (2003). Teorias y modelos macroeconomicos. Madrid: ESIC España.

Ramirez, F. O. (2006). Modelación de la volatilidad y pronóstico del precio del café.Colombia.Revista Ingenierias Universidad de Medellin.9(5):45-58.

Perales, G. (2010). The theory of storage and price dynamics of agricultural commodity, futures: the case of corn and wheat.México.Ensayos revista de economia. 1(29):1-22.

Vargas, I.(2018).¿Como funciona la camara de compensacion?. España. Rankia. Consultado en : <https://www.rankia.com/blog/operativa-con-futuros/2353199-como-funciona-camara-compensacion-verdaderamente-util>.

Solares, D. O.(2011). Contrato C, principales caresteristicas. Guatemala.

Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). 2020.Consultada el 15 de marzo del 2020 en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/mexico-onceavo-productor-mundial-de-cafe?idiom=es>.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014.Consultada el 19 de marzo del 2020 en:
<http://w4.siap.gob.mx/sispro/portales/agricolas/cafe/Descripcion.pdf>.

Varangis, P.; Siegel, P. and Giovannucci, D. (2003). Dealing with the coffee crisis in central America impacts and strategies”, World Bank Policy Research Paper, núm. 2993.

Working, H. (1953). Futures trading and hedging. EE.UU.American economic review. 3(43):314-343.

Wikipedia.(2021). Expectativa racional. Consultado en:
https://es.Wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_las_expectativas_racionales.

Capítulo 3. Cobertura de precios para el café en el mercado de futuros, utilizando un árbol binomial de probabilidad.

Hedging prices for coffee in the futures market, using a binomial probability tree.

Gerónimo Barrios Puente¹, Oscar Galván Manuel¹, Francisco Pérez Soto¹, Dora Ma. Sangerman Jarquín² y Roberto Carlos García Sánchez³.

¹Posgrado en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5, 56230 Texcoco, Edo Méx. gbarriospuente55@gmail.com, ¹Autor para correspondencia: Posgrado en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5, 56230 Texcoco, Edo Méx. oscar.galvan3991@gmail.com,

¹Posgrado en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5, 56230 Texcoco, Edo Méx. perezsotofco@gmail.com, ²Campo Experimental Valle de México Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5 Coatlinchán, Texcoco, Edo. de México, México C. P. 56250. Tel. 55 38 71 87 revista_atm@yahoo.com.mx, ³Posgrado en Economía. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km 36.5, Montecillo Estado de México, C. P. 56230. rcgarcia@colpos.mx.

Resumen

El presente trabajo terminado en enero del 2021 determina un modelo de cobertura de precios en los mercados de futuros de café. Siguiendo el método analítico, primeramente, se observó y analizo el comportamiento de los precios históricos comprendidos de enero del 2015 a diciembre del 2020 en el mercado spot y en el mercado de futuros, posteriormente utilizando la desviación estándar de los datos históricos, se calculó la volatilidad que hay en el mercado de futuros y el impacto de este en el precio final que reciben

los productores por su cosecha al finalizar cada ciclo productivo. Aplicando la teoría estadística del árbol binomial se estiman los precios esperados de los siguientes 3 cuatrimestres, posteriormente, se modela la función de utilidad del productor asumiéndola como la esperanza del ingreso y la varianza de este, posteriormente se halla y optimiza la función de utilidad del productor para conocer el número de contratos que garantiza la cobertura del precio de la producción. Los resultados de este trabajo sugieren que el ingreso final del productor dependerá directamente de la producción que se espera tener en cada ciclo productivo, del juego especulativo en bolsa (número de contratos) y del pronóstico del precio spot al momento de la evaluación, finalmente podemos concluir que los productores podrían estar motivados a la utilización de contratos de futuros como una estrategia de cobertura, ya que aunque las ganancias no sean extraordinarias, el ingreso siempre será mayor cuando se utiliza dicha cobertura que cuando no se utiliza.

Palabras clave: cobertura, mercado de futuros, riesgo, utilidad, volatilidad.

Abstract

The present work completed in January 2021 determines a price hedging model in the coffee futures markets. Following the analytical method, firstly, the behavior of the historical prices from January 2015 to December 2020 was observed and analyzed in the spot market and in the futures market, later using the standard deviation of the historical data, the volatility in the futures market and its impact on the final price that producers receive for their harvest at the end of each production cycle. Applying the statistical theory of the binomial tree, the expected prices of the next 3 four-month periods are estimated, later, the producer's utility function is modeled assuming it as the expected income and its variance, then the utility function of the producer is found and optimized. producer to know the number of

contracts that guarantees the coverage of the price of production. The results of this work suggest that the final income of the producer will depend directly on the production that is expected to have in each production cycle, the speculative game on the stock market (number of contracts) and the forecast of the spot price at the time of the evaluation, finally we can conclude that producers could be motivated to use futures contracts as a hedging strategy, since even if the gains are not extraordinary, the income will always be higher when such hedging is used than when it is not used.

Key Words: coverage, future markets, risk, utility, volatility.

Introducción

La riqueza del suelo de México, y su privilegiada ubicación geográfica son condiciones que lo convierten en el décimo productor de café a nivel mundial, con cerca de 540 mil cafecultores en las más de 700 mil hectáreas CEDRSSA (2018), en los estados de Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Guerrero, Tabasco, entre otros. Estas entidades producen dos grandes variedades: arábica y robusta. La variedad arábica es la más sembrada en todo el mundo, y en México representa el 94% de la producción total.

En esta actividad agrícola, existe una alta posibilidad de obtener pérdidas, debido a los diferentes riesgos (producción y mercado) que enfrentan los productores. El precio y la producción son las variables más importantes para el productor, puesto que de ello depende su ingreso. Desde la antigüedad, Japón 1600, los agricultores han buscado reducir ese riesgo, y en ese sentido el mercado de futuros cobra cada vez más relevancia entre los profesionales en finanzas y los productores de materias primas, y con esto un interés de estudio por parte de renombrados economistas desde la década de los 70's. En dicho período se publicaron algunos trabajos muy relevantes en el área de finanzas. Por ejemplo, los trabajos de Fisher Black y

Myron Scholes (1973) y Robert Merton (1973) y desde entonces han surgido opciones de cobertura o transferencia de este, tales como los contratos futuros, u opciones (FIRA, 2011).

El uso de contratos en el mercado de futuros se hace con la intención de contrarrestar las eventuales pérdidas en el mercado de contado (transferencia inmediata del producto en físico), y en algunos casos generar ganancias con la especulación del precio. La principal idea de este trabajo es determinar un modelo de cobertura de precios en los mercados de futuros de café, para utilizarlo como herramienta ante las fluctuaciones en los cambios de los precios a nivel global, derivados de los distintos factores que lo motivan.

Los futuros de café tienen lugar en un mercado virtual organizado, denominado bolsa de granos, en donde se cotiza distintos tipos de café (variedad y calidad). En este trabajo nos centraremos en la variedad arábica, que como ya se mencionó anteriormente es la más cultivada en el país. Esta variedad se cotiza en la Bolsa de New York a través del contrato estandarizado "C". Un contrato C es un volumen fijo de negociación de café suave lavado que cumple con normas determinadas de calidad (Humedad no inferior al 8% y no superior al 12%, ISO 6673.3.3), y cantidad (37,500 libras, aproximadamente 250 sacos de 69 Kg) Solares (2011). El precio se pacta el día de hoy contra la entrega a futuro del físico, cancelando así el contrato.

Materiales y métodos

Explorando las teorías de cobertura, todas buscan la maximización del beneficio al mismo tiempo que se desea reducir el riesgo. Esta aproximación a la cobertura nace a partir del trabajo de Working (1953). En el transcurso de los años las teorías de cobertura se han estudiado a profundidad y se han planteado nuevas teorías, por ejemplo, Gutiérrez (2017) nos habla de la predicción de las razones de cobertura cruzada óptima en el mercado del petróleo mexicano. Basándose en los trabajos de BEKK, evalúa el

desempeño de 4 modelos GARCH bivariados y el método de mínimos cuadrados ordinarios para predecir las razones de cobertura cruzada de mínima varianza del petróleo mexicano en el periodo comprendido del 2000 al 2015. Para nuestro caso de estudio utilizaremos una estrategia de cobertura simple conocida tradicionalmente como “naive”.

Revisados los datos históricos durante cinco años de los precios de futuros del café, en la Bolsa de Nueva York (referencia del precio del café en México INVESTING.COM (2020)), se calcula la volatilidad de este commodity para remarcar el riesgo “financiero” que conlleva dicho cultivo, la importancia de analizar la volatilidad se muestra claramente en el trabajo de Doporto y Michelena (2011), que nos hablan de la volatilidad de los precios de los Commodities en el 2010 y sus múltiples efectos, el principal, el riesgo económico, riesgo al que están expuestos los cafecultores en México.

Los datos históricos del precio del café se agrupan por cuatrimestres; por lo general son 3 veces al año en el que los pequeños productores sacan sus cosechas al mercado, Aguilar (2020). Con la volatilidad calculada y auxiliándonos de un árbol binomial se estima el precio futuro; tanto al alza como a la baja, de los siguientes 3 cuatrimestres, después se plantea la función de utilidad del productor, para poder determinar el número de contratos óptimos en el mercado de futuros, que maximice la utilidad del productor.

El cuadro 1 muestra el precio promedio anual de los futuros de café en la bolsa de Nueva York (Promedio simple, obtenido del cierre diario de las cotizaciones de futuros de café). Así como los precios pagados a los cafecultores, (WWW.ICO.ORG, 2016).

Cuadro 1. Volatilidad y precios promedio en los mercados a futuro y al contado.

año	período	Precio promedio mercado de futuros.	Volatilidad %	Precio que se le paga a los cafeticultores.
2015	1	1.297167	15.09067	1.0892
	2		10.41241	
	3		5.734139	
2016	1	1.36275	7.762556	1.1441
	2		8.407628	
	3		9.0527	
2017	1	1.322542	8.970063	1.0735
	2		7.323548	
	3		5.677033	
2018	1	1.079313	3.646334	0.92225
	2		5.504481	
	3		7.362629	
2019	1	1.037417	5.411277	0.843
	2		8.692736	
	3		11.97419	
2020	1	1.086	7.730763	0.91224

La volatilidad antes calculada nos permite saber si el precio del café se enfrenta a movimientos bruscos de mercado, movimientos en el precio que pueden ser perjudiciales para los productores. Para nuestro caso de estudio se tomó un total de 1365 datos del cierre diario del precio de los futuros de café, se separaron respectivamente en los cuatrimestres correspondientes por año (2015 al 2020) y finalmente se calculó la desviación del precio con respecto a la media de su cotización histórica en el periodo antes señalado (volatilidad, fórmula 2).

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (r_i - \bar{R})^2 \quad \text{Fórmula 1. Varianza.}$$

$$v = \sqrt{\sigma^2} = \sigma \quad \text{Fórmula 2. Volatilidad.}$$

Empleada la información del cuadro 1 y usando una Volatilidad anual de 8.69% (promedio simple de la volatilidad antes calculada), se procede a estimar U (precio a futuro del café en los siguientes tres cuatrimestres, lo que para los productores representa un año), lo que implica:

$$U = e^{\sigma\sqrt{T}} \quad \text{CITATION JH011 \l 3082 (HULL J.C., 2011)} \quad (3)$$

$$U = e^{0.0869\sqrt{0.333}} = 1.0514516.$$

Donde:

U=aumento proporcional en el precio del futuro.

T=Tiempo.

σ =volatilidad.

Lo que significa que, si el precio del café aumentara, lo haría en una proporción del 5.1416% ((u-1)x100), respecto al precio del cuatrimestre anterior.

Y el decremento proporcional del precio del futuro se puede estimar por:

$$D = \frac{1}{u} \quad \text{CITATION JHO11 \l 3082 (HULL J. C., 2011)} \quad (4)$$

$$D = \frac{1}{1.0514516} = 0.9474$$

Donde:

D= Decremento proporcional en el precio del futuro.

De forma similar D, se puede interpretar como el decremento en un 5.26% $((1-u) \times 100)$ en el precio del café respecto al cuatrimestre anterior.

A partir del precio recibido por los cafeticultores en el primer cuatrimestre del año 2020, 91.224 centavos de USD por libra, se construye un árbol binomial asumiendo una probabilidad de X; el cual estima dos posibles escenarios de precios en los siguientes tres cuatrimestres del año, esto es, si los precios incrementan o bien, si estos disminuyen. Los árboles binomiales son comúnmente usados para valorar opciones, un ejemplo claro es el trabajo de Ochoa (2009), que ocupa arboles binomiales para la valoración de opciones americanas sobre TRM, aunque, también pueden ser usados para evaluar acciones tal como lo hace Mariz (2016) en su trabajo titulado modelización estocástica de acciones mediante arboles binomiales.

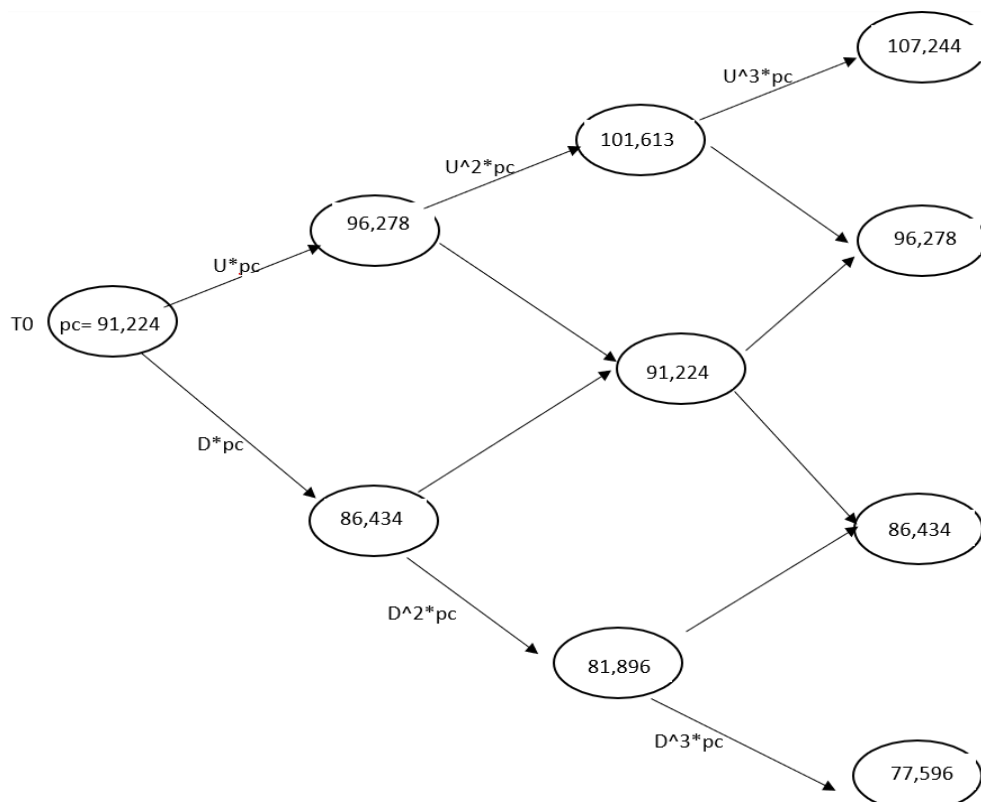


Figura 1. Árbol binomial, Proyección 3 próximos cuatrimestres, elaboración propia.

Como lo muestra la figura 1, el precio para el segundo trimestre estadísticamente podría ser de 96.278 centavos de USD por libra o bien, en un escenario pesimista de 86.434 centavos de USD por libra; esta diferencia de 9.844 centavos de USD en los precios, técnicamente se denomina volatilidad en los precios, situación que eventualmente podría afectar drásticamente el ingreso de los productores. De ahí, la importancia de reducir el riesgo implícito que representa una eventual pérdida como consecuencia del comportamiento de los precios, como lo demuestra Ramírez

(2006), en su trabajo “Modelación de la volatilidad y pronóstico del precio del café” en el cual presenta una revisión del modelo GARCH (heteroscedasticidad condicional autorregresiva generalizada).

Maximización de la función objetivo.

Para calcular la cantidad óptima de contratos, es necesario modelar el ingreso que el productor espera obtener al momento de vender su cosecha, dicho ingreso está compuesto de manera general por 2 variables. Sí se considera que el productor no utiliza ninguna estrategia de cobertura para protegerse contra las fluctuaciones del precio, así mismo, que todo su producto es vendido en un mercado competitivo y que es aceptador del precio (mercado de contado), el ingreso del productor será: precio por cantidad producida, o en su forma matemática:

$$I = Pq \quad (5)$$

Donde:

P= Precio aleatorio (volátil en el tiempo).

q= Producción.

Los futuros de café arábico (variedad que se produce en México hasta en un 94%) se negocian en la bolsa de Nueva York y también en la bolsa de Londres. Cuando un productor quiera protegerse de una caída de precios optará por hacer una venta en corto de N contratos, de tal manera que, si el precio del café cae, el productor compensará la pérdida de valor de su producto en el mercado de contado, con la ganancia generada en el mercado de futuros. En caso de un alza en el precio, se compensará la pérdida en el mercado de futuros con la venta del producto en el mercado de contado, de esta forma su ingreso estará dado por: la venta en el mercado spot (contado) más la ganancia o pérdida en el mercado de futuros, es decir:

$$I = p_c q + (P_p - P_t)N \quad (6)$$

Donde:

P_p = Precio pactado en el mercado de futuros.

P_t = Precio en el tiempo t .

P_c = Precio en el mercado de contado.

q = Producción.

N = Número de contratos.

Teniendo la ecuación del ingreso completa, se modela la utilidad del productor para conocer el número de contratos que optimiza la utilidad, en este caso, la utilidad del productor se puede interpretar como una cartera formada por 2 activos, el número de contratos que tomara y la cantidad de su producción. Para optimizar dicha cartera utilizaremos el modelo de media varianza de Markowitz en su forma más sencilla, este modelo asume que la utilidad esperada del productor está en función del ingreso esperado y de la varianza de este, es decir:

$$E(U) = E(I) - \text{VAR}(I) \quad (7)$$

Descomponiendo la ecuación 7 y representando los respectivos términos, tenemos que:

$$E(I) = qE(P_c) + N(P_p) - NE(P_t) \quad (8)$$

Donde:

E= Símbolo esperanza.

N= Número de contratos.

$$VAR(I) = q^2VAR(P_c) + N^2VAR(P_p) - 2NqCOV(P_c, P_t) \quad (9)$$

Donde:

VAR= Símbolo varianza.

COV= Símbolo covarianza.

Sustituyendo las ecuaciones 8 y 9 en la ecuación 7, tenemos que:

$$E(U) = qE(P_c) + N(P_p) - NE(P_t) - (q^2VAR(P_c) + N^2VAR(P_t) - 2qNCOV(P_c, P_t)) \quad (10)$$

Para poder conocer N (Número de contratos que maximiza la utilidad esperada) se deriva la ecuación 10 respecto a N, y se iguala a cero.

$$\frac{\partial E(U)}{\partial N} = P_p - E(P_t) - 2NVAR(P_t) + 2qCOV(P_c, P_t) = 0 \quad (11)$$

Despejando a N de 11:

$$N = \frac{qCOV(P_c, P_t)}{VAR(P_t)} + \frac{P_p}{2VAR(P_t)} - \frac{E(P_t)}{2VAR(P_t)} \quad (12)$$

Reescribiendo la ecuación 12 tenemos que:

$$N = \frac{P_p - E(P_t)}{2\sigma_{pt}} + \frac{q[E\{(P_c - E(P_t))(P_t - E(P_t))\}]}{\sigma_{pt}} \quad (13)$$

Resultados

Desarrollando la ecuación 13 y sustituyéndola en la ecuación 6, tenemos que el ingreso del productor en cada cuatrimestre será:

$$I1 = P_c q + 0.3069P_p + 0.3145qP_p - 0.3069P_t - 0.3145qP_t \quad (14)$$

$$I2 = P_c q + 0.6937P_p + 2.1193qP_p - 0.6937P_t - 2.1193qP_t \quad (15)$$

$$I3 = P_c q + 0.947P_p + 1.0869qP_p - 0.947P_t - 1.0869qP_t \quad (16)$$

Estas ecuaciones nos dicen que ahora el ingreso depende de la producción que se espera tener (sacar al mercado), del juego especulativo en bolsa y del precio spot que se tiene al momento de hacer la evaluación.

Revisando los precios de la bolsa de Nueva York para los contratos de futuros de café para los meses de septiembre 2020, marzo 2021 y julio 2021, se tiene lo siguiente:

KCU2020=110.45 Contrato de café arábico con vencimiento en septiembre del 2020, el cual se cotiza a 110.45 centavos de USD por libra.

KCH2021=114.20 Contrato de café arábico con vencimiento en marzo del 2021, el cual se cotiza a 114.20 centavos de USD por libra.

KCN2021=115.95 Contrato de café arábico con vencimiento en julio del 2021, el cual se cotiza a 115.95 centavos de USD por libra.

Considerando estos datos como posibles precios pactados (Venta en corto, vender ahora esos contratos en el mercado de futuros) y sustituyendo los datos en la ecuación 14, 15 y 16 podemos simular el ingreso hipotético del

productor, suponiendo que el productor produce en cada cuatrimestre el equivalente a un contrato de futuros (37500 libras).

En el cuadro 2 se muestra el comportamiento del ingreso hipotético del productor, derivado del uso de coberturas como una herramienta para reducir sus riesgos, en el mercado de futuros.

Cuadro 2. Ingreso sin cobertura vs ingreso con cobertura, con precios a la baja.

Ciclo	Precio contrato futuro	Precio al final del ciclo productivo. Estimación árbol binomial a la baja.	Ingreso sin cobertura (centavos de dólar)	Ingreso con cobertura (USD)
Sep. 2020	110.45	86.434	$I = 86.434q$	$I = 101.3576q$
Mar. 2021	114.20	81.896	$I = 81.896q$	$I = 172.769q$
Jul. 2021	115.95	77.59	$I = 77.59q$	$I = 155.69q$

Para poder comparar los resultados del cuadro 2, en el cuadro 3 se presenta el escenario alcista en el precio del café. Recordemos que nuestro productor tomo una posición corta.

Cuadro 3. Ingreso sin cobertura vs ingreso con cobertura, con precios al alza.

Ciclo	Precio contrato futuro	Precio al final del ciclo productivo. (estimación árbol binomial al alza)	Ingreso sin cobertura (centavos de dólar)	Ingreso con cobertura (USD)
Sep. 2020	110.45	96.278	$I = 96.278q$	$I = 105.084q$
Mar. 2021	114.20	101.613	$I = 101.613q$	$I = 136.776q$
Jul. 2021	115.95	107.244	$I = 107.244q$	$I = 124.95q$

Como se puede observar en los cuadros 2 y 3, los ingresos con cobertura son mayores en los 2 escenarios (tanto alcista como bajista), estos resultados concuerdan con la teoría del uso del mercado de futuros ,que se pueden demostrar de una manera tan simple, o bien, de maneras más complejas, como lo hace Cárcamo (2008), que trabajó modelos de tiempo continuo para Commodities agrícolas o De la vega y Porras (2009), en su artículo titulado “Modelos Estocásticos para el Precio Spot y del Futuro de Commodities con Alta Volatilidad y reversión a la Media”.

También se observa que el productor obtiene un ingreso menor en el escenario alcista, la razón principal son los cortos que toma en el mercado de futuros, es decir, el prevé una caída en los precios y pasa todo lo contrario, aun así, su ingreso sigue siendo superior comparado con la de un productor sin cobertura. También podemos ver que entre más lejos (tiempo) este el ciclo productivo que se quiera cubrir la diferencia entre el ingreso sin cobertura vs el ingreso con cobertura aumenta, esto es un indicador que nos dice que entre más tiempo pase la estimación es menos precisa y poco fiable.

Discusión

Los resultados que arroja este análisis van de acuerdo con la teoría, que nos dice que el mercado de futuros se puede ocupar como herramienta de cobertura, sin embargo, es necesario precisar que en la actualidad los operadores en el mercado de futuros casi nunca llegan al cierre de contrato (entrega del producto físico), es decir, liquidan las operaciones antes. En este sentido se tendría que responder preguntas como, ¿Cuándo es el momento de liquidar los contratos?, ¿Cuánto tiempo se debe tener la posición abierta?, esta interrogativa abre paso al análisis del resultado de la tablas 1 y 2 que nos muestra que el ingreso del productor disminuye cuando el precio en el mercado de futuros va en sentido contrario a la posición que se tomó, y por ende el ingreso final se ve afectado negativamente, y desde luego surge la otra interrogativa, ¿Cuál es la aplicación práctica para los productores?, ¿cómo se tendrían que organizar a los pequeños productores para que puedan entrar a operar el mercado de futuros?.

Conclusiones.

En este trabajo se ha demostrado que analizando el mercado de futuros de una manera simple se llega a resultados contundentes acerca de la eficiencia del uso de este para cubrir el riesgo económico que conlleva producir Commodities agrícolas en este caso específico el café.

La ecuación con la que se calculó el número de contratos óptimos sugiere que el ingreso depende de la producción que se espera tener (sacar al mercado), del juego especulativo en bolsa, es decir, el número de contratos a tomar y del precio spot que se tiene al momento de hacer la evaluación.

También se encontró que los ingresos con cobertura son mayores en los 2 escenarios (tanto alcista como bajista) y que entre más lejos (tiempo) este el ciclo productivo que se quiera cubrir, la diferencia entre el ingreso sin cobertura vs el ingreso con cobertura aumenta, esto es un indicador que nos dice que entre más tiempo pase, la estimación es menos precisa y poco fiable, esto se debe principalmente a un sesgo del tipo matemático en la formulación del modelo. El modelo también puede fallar si la estrategia de

cobertura no es la correcta, es decir, si el número de contratos tomados en corto en el mercado de futuros no son los adecuados.

Finalmente, los resultados sugieren que los productores podrían estar motivados a la utilización de contratos de futuros como una estrategia de cobertura, ya que, aunque las ganancias no sean extraordinarias el ingreso siempre será mayor cuando se utiliza dicha cobertura que cuando no se utiliza.

Literatura citada.

Aguilar, N. B. (4 de abril del 2020). ¿como se produce cafe en la sierra de oaxaca? (O. G. Manuel, entrevistador).

Black, F. and scholes, M. (1973).The pricing of options and corporate liabilities.EE.UU.Journal of political economy.3(81):637-654.

Carcamo, U. C. (2008). Modelos de tiempo continuo para commodities agricolas en colombia.Colombia. Ad-minister. 11(1):42-63.

Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberania Alimentaria.(CEDRSSA). (2018). El café en mexico. obtenido de:
<http://www.cedrssa.gob.mx>.

ConceptoDefinicion, R.(2018).Mexico. Definición de Movimiento Browniano. Recuperado de: <https://conceptodefinicion.de/movimiento-browniano/>. Consultado el 15 de diciembre del 2020.

Fideicomisos Instituidos en Relacion con la Agricultura(FIRA). (2011). Mercado de futuros y Opciones.Mexico.Fira boletin.11(1):6-7.

Fracisco venegas martines, g. j. (2014). Ingenieria financiera,bonos acciones y derivados. Hidalgo: consejo editorial.

Garcia de la vega, V.M. y Porras, A. (2009). Modelos Estocasticos para el Precio Spot y del Futuro de Commodities con Alta Volatilidad y Reversion a la Media.Mexico. Revista De Administracion, Finanzas Y Economia.2(3):1-24.

Garcia, E.(2007).Guia estrategica para el aprendizaje autodirigido de la asignatura de investigacion.Mexico. FES-Acatlan.

Gutiérrez, R.(2018). Predicción de las razones de cobertura cruzada optima en el mercado del petróleo mexicano.Mexico. Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF.1(13):48-67.

Hull, j. c. (2011). Introduccion a los mercados de futuros y opciones. mexico: pearson educacion.

Mariz, N.A. (2016). Modelización estocástica de acciones mediante arboles binomiales. España. Revista Leopoldo Pons.

Merton C.R. (1973). Theory of rational option pricing. EE.UU. The bell journal of economics and management science. 1(4):141-183.

Miguez, I. D. y Michelana, G. (2011). La volatilidad de los precios de los commodities en el caso de los productos agrícolas. Centro de Economía Internacional (CEI) del ministerio de Relaciones Exteriores y Culto de la Nación, número 19.

INVESTING. (2020). *INVESTING.COM*. Obtenido de <https://mx.investing.com/commodities/us-coffee-c-historical-data>

Ochoa, C.M. (2009). Metodologías alternativas para la valoración de opciones americanas sobre TRM. Repositorio Institucional EAFIT.

Ramirez, F. O. (2006). Modelación de la volatilidad y pronóstico del precio del café. Colombia. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. 9(5):45-58.

Solares, D. O. (2011). Contrato C, principales características. Guatemala.

Working, H. (1953). Futures trading and hedging. EE.UU. American economic review. 3(43):314-343.

WWW.ICO.ORG. (2016). Obtenido de http://www.ico.org/es/new_historical_c.asp

Capítulo 4. Cobertura de precios para el café en el mercado de futuros, utilizando un modelo estocástico.

Hedging prices for coffee in the futures market, using a stochastic model.

Gerónimo Barrios Puente¹, Oscar Galván Manuel¹, Francisco Pérez Soto¹, Dora Ma. Sangerman Jarquín² y Roberto Carlos García Sánchez³.

¹Posgrado en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5, 56230 Texcoco, Edo Méx. gbarriospuente55@gmail.com, ¹Autor para correspondencia: Posgrado en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5, 56230 Texcoco, Edo Méx. oscar.galvan3991@gmail.com,

¹Posgrado en Economía Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera Federal México-Texcoco Km 38.5, 56230 Texcoco, Edo Méx. perezsotofco@gmail.com, ²Campo Experimental Valle de México Carretera Los Reyes-Texcoco, km 13.5 Coatlinchán, Texcoco, Edo. de México, México C. P. 56250. Tel. 55 38 71 87 revista_atm@yahoo.com.mx, ³Posgrado en Economía. Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco, km 36.5, Montecillo Estado de México, C. P. 56230. rcgarcia@colpos.mx.

Resumen

El presente trabajo terminado en enero del 2021 determina un modelo de cobertura de precios en los mercados de futuros de café. Siguiendo el método analítico, primeramente, se observó y analizo el comportamiento de los precios históricos comprendidos de enero de 1995 a diciembre del 2020. Aplicando la teoría del movimiento browniano se estima un modelo matemático que pueda describir la trayectoria del precio del café en el mercado de futuros, posteriormente ocupando la teoría de media varianza de Markowitz en su forma más sencilla se optimiza dicho modelo para obtener

el número de contratos (cortos) que el productor debería de tomar para poder beneficiarse con los movimientos del precio, posteriormente, se modela la función de utilidad del productor asumiéndola como la esperanza del ingreso y la varianza de este, posteriormente se halla y optimiza la función de utilidad del productor para conocer el número de contratos que garantiza la cobertura del precio de la producción. El modelo sugiere que, para productores con una aversión al riesgo cercana a cero, el tamaño de la cobertura es cero cuando los precios están muy lejos de su media condicional y va aumentando conforme esa diferencia se hace pequeña. Por otro lado, para productores con una aversión al riesgo cercana a 1, la cobertura es generalmente proporcional a la diferencia entre el precio y su media condicional.

Palabras clave: cobertura, mercado de futuros, movimiento browniano, riesgo, utilidad, volatilidad.

Abstract

The present work completed in January 2021 determines a price hedging model in the coffee futures markets. Following the analytical method, first, the behavior of the historical prices from January 1995 to December 2020 was observed and analyzed. Applying the theory of the Brownian movement, a mathematical model is estimated that can describe the trajectory of the price of coffee in the market of futures, later occupying the theory of mean variance of Markowitz in its simplest form, this model is optimized to obtain the number of contracts (short) that the producer should take to be able to benefit from price movements, later, the The producer's utility function assuming it as the income expectancy and the variance of this, later the producer's utility function is found and optimized to know the number of contracts that guarantees the coverage of the price of production. The model suggests that, for producers with a risk aversion close to zero, the size of the

hedge is zero when prices are far from their conditional mean and increases as this difference becomes small. On the other hand, for producers with a risk aversion close to 1, the coverage is generally proportional to the difference between the price and its conditional mean.

Key Words: hedging, futures market, Brownian movement, risk, profit, volatility.

Introducción.

Los futuros de café tienen lugar en un mercado virtual organizado, denominado bolsa de granos, en donde se cotiza distintos tipos de café (variedad y calidad). En este trabajo nos centraremos en la variedad arábica, que como ya se mencionó anteriormente es la más cultivada en el país. Esta variedad se cotiza en la Bolsa de New York a través del contrato estandarizado "C". Un contrato C es un volumen fijo de negociación de café suave lavado que cumple con normas determinadas de calidad (Humedad no inferior al 8% y no superior al 12%, ISO 6673.3.3), y cantidad (37,500 libras, aproximadamente 250 sacos de 69 Kg) Solares (2011). El precio se pacta el día de hoy contra la entrega a futuro del físico, cancelando así el contrato.

El precio y la producción son las variables más importantes para el productor, puesto que de ello depende su ingreso. Desde la antigüedad (Japón, 1600 d c, FIRA (2011)) los agricultores han buscado reducir ese riesgo y desde entonces han surgido diferentes opciones de cobertura o transferencia de este, tales como los contratos futuros u opciones.

El uso de contratos en el mercado de futuros se hace con la intención de contrarrestar las eventuales pérdidas en el mercado de contado (transferencia inmediata del producto en físico) y en algunos casos generar ganancias con la especulación del precio.

Los futuros de café tienen lugar en un mercado virtual organizado, denominado bolsa de granos, en donde se cotiza distintos tipos de café

(variedad y calidad). El presente trabajo se centra en la variedad arábica, que como ya se mencionó anteriormente es la más cultivada en el país, aunque, las conclusiones pueden ser válidas en determinada proporción para los precios del café robusta.

La variedad arábica se cotiza en la bolsa de New York a través del contrato estandarizado "C". Un contrato C es un volumen fijo de negociación de café suave lavado que cumple con normas determinadas de calidad (humedad no inferior al 8% y no superior al 12%, ISO 6673.3.3), y cantidad (37,500 libras, aproximadamente 250 sacos de 69 kg), Solares (2011). El precio se pacta el día de hoy contra la entrega a futuro del físico, con lo cual el contrato queda cancelado.

En esta investigación se analiza el comportamiento del precio spot (de contado) del café y el precio en el mercado de futuros, aplicando la teoría del movimiento browniano, se estima un modelo matemático que pueda describir la trayectoria del precio del café en el mercado de futuros. Para predecir con él los posibles valores que el precio pueda tomar en determinados lapsos de tiempo, posteriormente dicho modelo es optimizado para obtener el número de contratos (cortos) que el productor debería de tomar para poder beneficiarse con los movimientos del precio, teniendo como ventaja la posesión del producto físico.

Materiales y métodos.

El movimiento browniano puede ocuparse para describir el comportamiento del precio de diversos activos que cotizan en bolsa y que aparentemente están regidos por la oferta y demanda, como es el caso de los futuros de café.

Denotaremos al movimiento browniano o proceso de Wiener por: $\{B(t; \omega): t \geq 0, \omega \in \Omega\}$ o concisamente por $\{B(t): t \geq 0\}$, si bien en numerosos textos se puede encontrar simplemente como $\{W(t): t \geq 0\}$.

Ahora bien, la “cartera” del productor será conformada por 2 activos, la producción (la cual por el momento llamaremos w_1) de café que se espera tener en el ciclo, y por la posición tomada en el mercado de futuros (número de contratos (la cual llamaremos w_2)). Siendo así, se tiene una cartera que combina 2 activos con riesgo en un intervalo de tiempo $[t, T]$. El valor inicial de esta cartera puede escribirse como:

$$\pi = w_1 p_c + w_2 (p_p - p_t). \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde p_c y p_t son el valor de cada activo en el tiempo t .

Ahora bien, se describe el cambio en el valor de la cartera entre las fechas t y T . Manteniendo las cantidades de los activos constantes la ecuación 1 se puede escribir como:

$$x: \pi_T - \pi_t = w_1 (p_{cT} - p_{ct}) + w_2 (p_{tT} - p_{tt}). \quad \text{Ecuación 2.}$$

O bien como: $\pi = s_t w_1 + w_2 F_t(s_t, t)$, que reescribiéndola se podría interpretar como:

$$I = p_c Q + N (P_p - P_t). \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde:

I =Ingreso del productor.

P_c =Precio en el mercado spot al llegar el tiempo T .

Q =Producción al finalizar el ciclo productivo.

N =Número de contratos que se toma en el mercado de futuros.

P_p =Precio pactado de N en el mercado de futuros.

P_t =Precio de N en el mercado de futuros al llegar el tiempo T .

A partir de ahora nuestra atención se centrará en la ecuación 3, específicamente en 2 variables esenciales, el precio en el mercado spot al llegar el tiempo T (P_c) y el precio de N en el mercado de futuros al llegar el tiempo T (P_t).

Primeramente, probaremos si el P_c puede ser conducido por un movimiento browniano geométrico como lo sugiere el modelo de un factor de Muth, que es el primero en suponer que los precios de las materias primas siguen la ecuación diferencial estocástica:

$$ds_t = k(\mu - \ln s_t)s_t dt + \sigma s_t dB_t. \text{ Ecuación 4.}$$

Donde:

K : Coeficiente de reversión a la media.

μ : Rendimiento total.

σ : Volatilidad.

B_t : Movimiento browniano.

Ahora bien, como S_t es un proceso estocástico que debe satisfacer la siguiente ecuación diferencial tipo Itô:

$$dx(t) = f(t, x(t))dt + g(t, x(t))dB(t). \text{ Ecuación 5.}$$

Para la ecuación 4 se tiene que:

$$g(t, x(t)) = g(t, s(t)) = \sigma s_t. \text{ Ecuación 6.}$$

$$f(t, x(t)) = k(\mu - \ln s_t)s_t. \text{ Ecuación 7.}$$

$$x_t = \ln s_t = f(t, s_t). \text{ Ecuación 8.}$$

Calculando las derivadas parciales de las ecuaciones 6, 7 y 8 para poder sustituirlas en la ecuación 5, se tiene que:

$$f_1 = \frac{\partial f(t, s_t)}{\partial t} = 0.$$

$$f_2 = \frac{\partial f(t, s_t)}{\partial s_t} = \frac{1}{s_t}.$$

$$f_{22} = \frac{\partial^2 f(t, s_t)}{\partial s_t^2} = -\frac{1}{s_t^2}$$

$$dx(t) = \int_0^t [(k\mu - k\ln x_t)s_t(\frac{1}{s_t})]dt + \int_0^t [(\frac{1}{2}\sigma s_t)^2(-\frac{1}{s_t^2})]dt + \int_0^t \sigma s_t(\frac{1}{s_t})dBt$$

Ecuación.9

Reescribiendo y simplificando la ecuación 9, tenemos que:

$$\ln x_t - \ln x_0 = \int_0^t (k\mu - \frac{\sigma^2}{2} - kx_t)dt + \int_0^t \sigma dBt$$

$$\ln x_t - \ln x_0 = tk\mu - \frac{\sigma^2}{2}t - tkx_t + \sigma Bt$$

Regresando a la variable original, se tiene que:

$$\ln s_t - \ln s_0 = tk\mu - \frac{\sigma^2}{2}t - tk\ln s_t + \sigma Bt.$$

$$\ln s_t(1 + kt) = tk\mu - \frac{\sigma^2}{2}t + \sigma Bt + \ln s_0.$$

$$s_t = e^{\frac{kmt - \frac{1}{2}\sigma^2 t + \sigma Bt + \ln s_0}{1+kt}}. \text{ Ecuación 10.}$$

Finalmente sustituyendo la ecuación 10, en la ecuación original (ec.3) podemos reescribir el ingreso del productor como:

$$I = Qe^{\frac{kmt - \frac{1}{2}\sigma^2 t + \sigma Bt + \ln s_0}{1+kt}} + N(P_p - P_t).$$

Basándonos en la extensión del modelo de Muth-Sargent de la teoría de expectativas racionales, se tiene que teóricamente el comportamiento del precio en el mercado de bienes es (Pérez,2012):

$$D_t = \beta P_t \text{ Ecuación 11}$$

$$O_t = \psi P_t + u_t \text{ Ecuación 12}$$

$$I_t = \alpha dp_t + v_t \text{ Ecuación 13}$$

$$O_t = D_t + dI_t \text{ Ecuación 14}$$

Donde:

α, β, ψ . Son constantes.

D_t . Es la demanda.

O_t . Es la oferta.

I_t . Es el inventario.

P_t . Es el precio esperado.

v_t, u_t . Son variables gaussianas.

Partiendo de este grupo de ecuaciones (11, 12, 13 y 14) se plantea la idea de extraer el precio esperado aplicado al mercado de futuros de café. Teniendo en cuenta que el precio actual P_0 es el factor más importante para hallar P_t en la teoría del movimiento browniano. El inventario será el segundo gran factor, ya que la teoría del almacenamiento dice que el precio y el inventario guardan una relación muy estrecha en el mercado de futuros.

Entonces despejando dp_t de la ecuación 13:

$$dp_t = \frac{I}{\alpha} - \frac{v_t}{\alpha}.$$

$$dp_t = \frac{I}{\alpha} dt + \sigma p_t dB_t. \text{ Ecuación 15.}$$

Y de 14:

$$dI_t = (\beta + \psi)p_t + u_t.$$

$$dI_t = (\beta + \psi)p_t dt + u_t dt. \text{ Ecuación 16.}$$

Aplicando la integral a 16, e ignorando la variable gaussiana:

$$\int_0^t dI_t = \int_0^t (\beta + \psi)p_t dt + \int_0^t u_t dt.$$

$$I = t(\beta + \psi)p_t. \text{ Ecuación 17.}$$

Sustituyendo 17 en 15, y reescribiendo el precio futuro en función del precio actual, el inventario, y el tiempo se tiene que p_t estará dado por:

$$dp_t = \frac{t(\beta + \psi)p_t}{\alpha} dt + \sigma p_t dB_t.$$

$$dp_t = \frac{t(\beta+\psi)}{\alpha} p_t(t)dt + \sigma p_t(t)dB_t. \text{ Ecuación 18.}$$

A partir de aquí desarrollaremos la ecuación 18 de acuerdo con la teoría del movimiento browniano, para ello haremos cambios de variable y calcularemos las derivadas parciales de las funciones correspondientes:

Si $p(t) = s(t)$, entonces:

$$f(t, p_t(t)) = \frac{t(\beta+\psi)}{\alpha} s(t).$$

$$g(t, p_t(t)) = \sigma s(t).$$

$$f(t, p_t) = \ln s_t.$$

Para la aplicación del lema de Itô se necesitan calcular las siguientes derivadas parciales:

$$f_1 = \frac{\partial f(t, p_t)}{\partial t} = 0.$$

$$f_2 = \frac{\partial f(t, p_t)}{\partial s_t} = \frac{1}{s_t}.$$

$$f_{22} = \frac{\partial^2 f(t, p_t)}{\partial s_t^2} = -\frac{1}{s_t^2}.$$

Sustituyendo las derivadas parciales y aplicando el lema de Itô la ecuación 18 puede ser escrita como:

$$s_t - s_0 = \int_0^t \frac{(\beta+\psi)t}{\alpha} s(t)dt + \int_0^t \sigma s(t)dB_t.$$

$$s_t - s_0 = \int_0^t 0 + \int_0^t \left(\frac{(\beta+\psi)t}{\alpha} s(t) \left(\frac{1}{s(t)} \right) \right) dt + \int_0^t \left(\frac{1}{2} (\sigma s(t))^2 \left(-\frac{1}{s(t)^2} \right) \right) dt + \int_0^t \sigma s(t) \left(\frac{1}{s(t)} \right) dB(t).$$

$$s_t - s_0 = + \int_0^t \left(\frac{(\beta+\psi)t}{\alpha} \right) dt - \int_0^t \left(\frac{1}{2} \sigma^2 \right) dt + \int_0^t \sigma dB(t).$$

$$s_t - s_0 = \frac{1}{2} t^2 \left(\frac{\beta+\psi}{\alpha} \right) - \frac{1}{2} \sigma^2 t + \sigma \int_0^t dB_t$$

$$s_t - s_0 = \frac{1}{2} t^2 \left(\frac{\beta+\psi}{\alpha} \right) - \frac{1}{2} \sigma^2 t + \sigma B_t \text{ Ecuación 19.}$$

Regresando a la variable original (p_t) la ecuación 19 puede ser escrita como:

$$\ln p_t - \ln p_0 = \frac{1}{2} \left(t^2 \left(\frac{\beta + \psi}{\alpha} \right) - \sigma^2 t \right) + \sigma Bt$$

$$\ln \frac{p_t}{p_0} = \frac{1}{2} \left(t^2 \left(\frac{\beta + \psi}{\alpha} \right) - \sigma^2 t \right) + \sigma Bt$$

$$p_t = p_0 e^{\frac{1}{2} \left(t^2 \left(\frac{\beta + \psi}{\alpha} \right) - \sigma^2 t \right) + \sigma Bt} \quad \text{Ecuación 20}$$

Finalmente se sustituye la ecuación 20 en 3, y el ingreso del productor puede modelarse como:

$$I = Q e^{\frac{kmt - \frac{1}{2}\sigma^2 t + \sigma Bt + \ln s_0}{1 + kt}} + N \left(p_t - p_0 e^{\frac{1}{2} \left(t^2 \left(\frac{\beta + \psi}{\alpha} \right) - \sigma^2 t \right) + \sigma Bt} \right)$$

Donde:

μ : Rendimiento total.

k : Coeficiente de reversión a la media.

σ : Volatilidad correspondiente.

Bt : Movimiento Browniano.

Después de analizar los 2 miembros de la ecuación 20, los resultados muestran que el precio al contado del café no sigue la ecuación diferencial $s_t = k(\mu - \ln s_t)s_t dt + \sigma s_t dB_t$. Que trata de describir el precio al contado de materias primas, con base a esto y observado los datos de la volatilidad de la tabla 2 calcularemos el incremento y decremento proporcional en los precios al contado, según Hull J.C, 2011:

$$U = e^{\sigma\sqrt{T}}. \quad \text{Ecuación 21, incremento proporcional.}$$

$$D = \frac{1}{u} = \frac{1}{e^{\sigma\sqrt{T}}}. \quad \text{Ecuación 22, decremento proporcional.}$$

Teniendo en cuenta que el productor ésta buscando cubrirse de una caída de precios, se sustituirá el decremento proporcional (ecuación 22) por p_c en

la ecuación 3; es decir, la función que modelará el ingreso del productor estará dada por:

$$I = s_0 \frac{1}{e^{\sigma\sqrt{T}}} Q + N \left(p_p - p_0 e^{\frac{1}{2} \left(t^2 \left(\frac{\beta+\psi}{\alpha} \right) - \sigma^2 t \right) + \sigma B t} \right) \text{ Ecuación 23.}$$

Donde:

s_0 : Precio del mercado spot al hacer la evaluación (se puede denominar precio inicial del mercado spot).

Teniendo la ecuación del ingreso completa, se modela la utilidad del productor para conocer el número de contratos que optimiza la utilidad, en este caso, la utilidad del productor viene dada por la cartera formada en la ecuación 1, para optimizar dicha cartera utilizaremos el modelo de media varianza de Markowitz en su forma más sencilla, este modelo asume que la utilidad esperada del productor está en función del ingreso esperado y de la varianza de este, es decir:

$$E(\pi) = E(\pi) - \frac{1}{2} m Var(\pi) \text{ Ecuación 24.}$$

Y como bien π , viene dado por la ecuación 1, y es: $\pi = w_1 p_c + w_2 (p_p - p_t)$.

Para poder reescribir la ecuación 24 en términos de la cartera del productor se ocupa la varianza y la esperanza matemática de la ecuación 1, entonces:

$$E(\pi) = w_1 E(p_c) + w_2 p_p - w_2 E(p_t) \text{ Ecuación 25.}$$

Y

$$Var(\pi) = Var(p_c w_1 + w_2 (p_p - p_t)) \text{ Ecuación 26.}$$

Teniendo en cuenta las siguientes propiedades de la varianza:

$$Var(cX) = c^2 Var(X)$$

$$Var(X + Y) = Var(X) + Var(Y) + 2Cov(XY)$$

Reescribiendo la ecuación 26, como:

$$Var(\pi) = w_1^2 Var(p_c) - w_2^2 Var(p_t) + 2w_2 w_1 Cov(p_c, p_t) \text{ Ecuación 27.}$$

Sustituyendo 27 y 25, en 24:

$$E(\pi) = w_1 E(p_c) + w_2 p_p - w_2 E(p_t) - \frac{m}{2} [w_1^2 Var(p_c) - w_2^2 Var(p_t) + 2w_2 w_1 Cov(p_c, p_t)] \text{ Ecuación 28.}$$

Para saber el número de contratos que maximiza la utilidad del productor y disminuye el riesgo de la cartera, se deriva la ecuación 28 respecto a w_2 , que vendría siendo N en la ecuación 23.

$$\frac{\partial E(\pi)}{\partial w_2} = p_p - E(p_t) + \frac{2w_2 m Var(p_t)}{2} - \frac{2w_1 m Cov(p_c, p_t)}{2}$$

Simplificando e igualando a cero, se tiene que:

$$p_p - E(p_t) + w_2 m Var(p_t) - w_1 m Cov(p_c, p_t) = 0$$

Finalmente despejamos para w_2 ,

$$w_2 = \frac{w_1 Cov(p_c, p_t)}{Var(p_t)} + \frac{E(p_t) - p_p}{m Var(p_t)} \text{ Ecuación 29.}$$

Regresando a las variables originales, y sustituyendo p_t, p_c finalmente la ecuación 29 se expresa como:

$$w_2 = \frac{QCov\left(s_0 \frac{1}{e^{\sigma\sqrt{T}}}, p_0 e^{\frac{1}{2}\left(t^2\left(\frac{\beta+\psi}{\alpha}\right) - \sigma^2 t\right) + \sigma Bt}\right)}{Var\left(p_0 e^{\frac{1}{2}\left(t^2\left(\frac{\beta+\psi}{\alpha}\right) - \sigma^2 t\right) + \sigma Bt}\right)} + \frac{E\left(p_0 e^{\frac{1}{2}\left(t^2\left(\frac{\beta+\psi}{\alpha}\right) - \sigma^2 t\right) + \sigma Bt}\right)}{m Var\left(p_0 e^{\frac{1}{2}\left(t^2\left(\frac{\beta+\psi}{\alpha}\right) - \sigma^2 t\right) + \sigma Bt}\right)} - \frac{p_p}{m Var\left(p_0 e^{\frac{1}{2}\left(t^2\left(\frac{\beta+\psi}{\alpha}\right) - \sigma^2 t\right) + \sigma Bt}\right)}$$

Aunque la ecuación 29 representa el resultado de este trabajo se reescribe de manera más sencilla, utilizando cambios de variables y algunas propiedades estadísticas; entonces:

$$\text{si } x = p_0 e^{\frac{1}{2}\left(t^2\left(\frac{\beta+\gamma}{\alpha}\right) - \sigma^2\right) + \sigma Bt}, \quad y = \frac{S_0}{e^{\sigma\sqrt{T}}}$$

y sabiendo que

$$COV(X, Y) = E[(X - E[X])(Y - E[Y])] , \sigma_X = \sqrt{VAR(X)}.$$

Se reescribe la ecuación 29:

$$W_2 = \frac{E(X) - p_P}{m\sigma_X^2} + \frac{Q[(Y - E[Y])(X - E(X))]}{\sigma_X^2} \text{ Ecuación 30.}$$

Ahora bien, de la ecuación 30, la esperanza matemática de Y, X pueden ser escritas como medias condicionales, es decir:

$$E(x) = X_T = C + \varepsilon_t = \mu_x$$

$$E(y) = Y_T = C + \varepsilon_t = \mu_y$$

finalmente, la ecuación 30 puede ser escrita como:

$$W_2 = \frac{\mu_x - P_p}{m\sigma_x^2} + \frac{Q[(y - \mu_y)(x - \mu_x)]}{\sigma_x^2}$$

Resultados

Los resultados de este trabajo se obtuvieron utilizando el software MATLAB, se calcularon los coeficientes de la demanda y de la oferta (ecuación 11 y 12), así como también la volatilidad del precio en el mercado de futuros.

El cuadro 1, nos muestra el valor de los coeficientes ψ, β y otros parámetros obtenidos en el ajuste de curva, estos parámetros son necesarios para poder correr el modelo matemático (ecuación 20) que traza la trayectoria del posible precio del café en el mercado de futuros.

Cuadro 1. Resultados del ajuste de curva para los coeficientes de oferta y demanda.

Modelo general	Coeficientes	R-cuadrada
$O_t = \psi P_t + u_t$	$\psi = 0.3353$ $u_t = 21.26$	0,7435
$D_t = -\beta P_t$	$\beta = -0.84$	0,8716

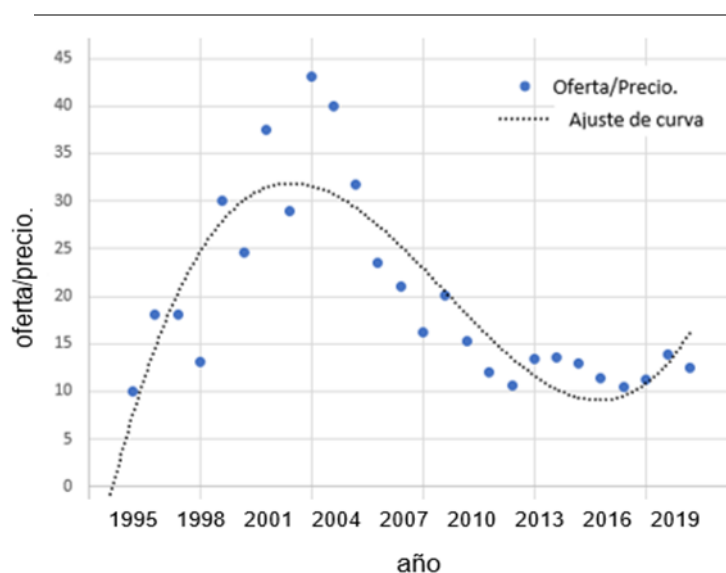


Figura 4. Ajuste de curva oferta/precio. Fuente: Elaboración propia.

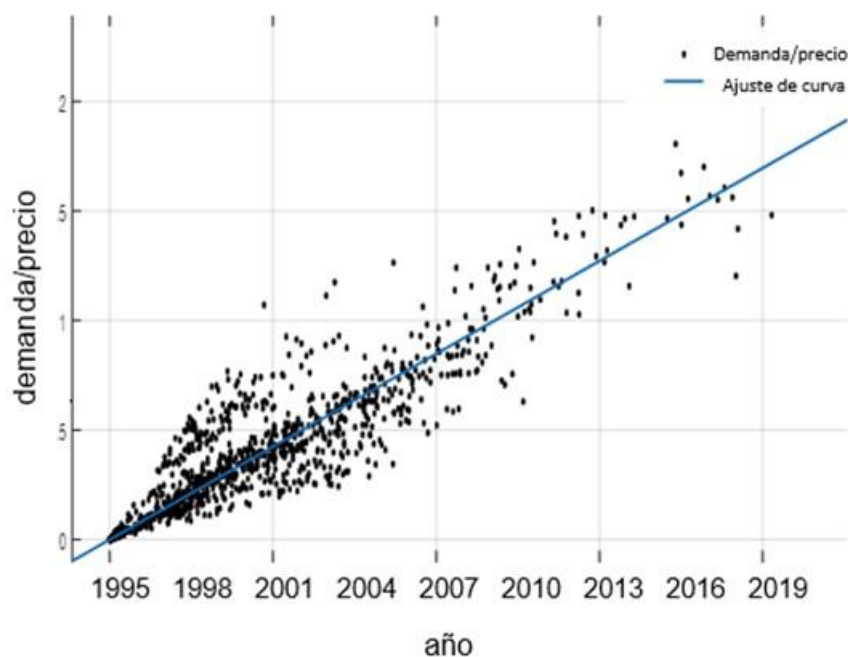


Figura 5. Ajuste de curva demanda/precio.Fuente: Elaboración propia.

Con los precios diarios de cierre del café en el mercado de futuros se calculó la variable P_t (ecuación 22) que simula la proyección del precio real según la teoría del movimiento browniano, esto con el fin de ver que la variable P_t sea significativamente aceptable para su uso posterior en la ecuación 30.

La Figura 7 nos muestra que la predicción de nuestro modelo (línea roja) es bastante cercana a los precios reales, esto es de suma importancia para poder ejecutar la ecuación 30 con éxito.

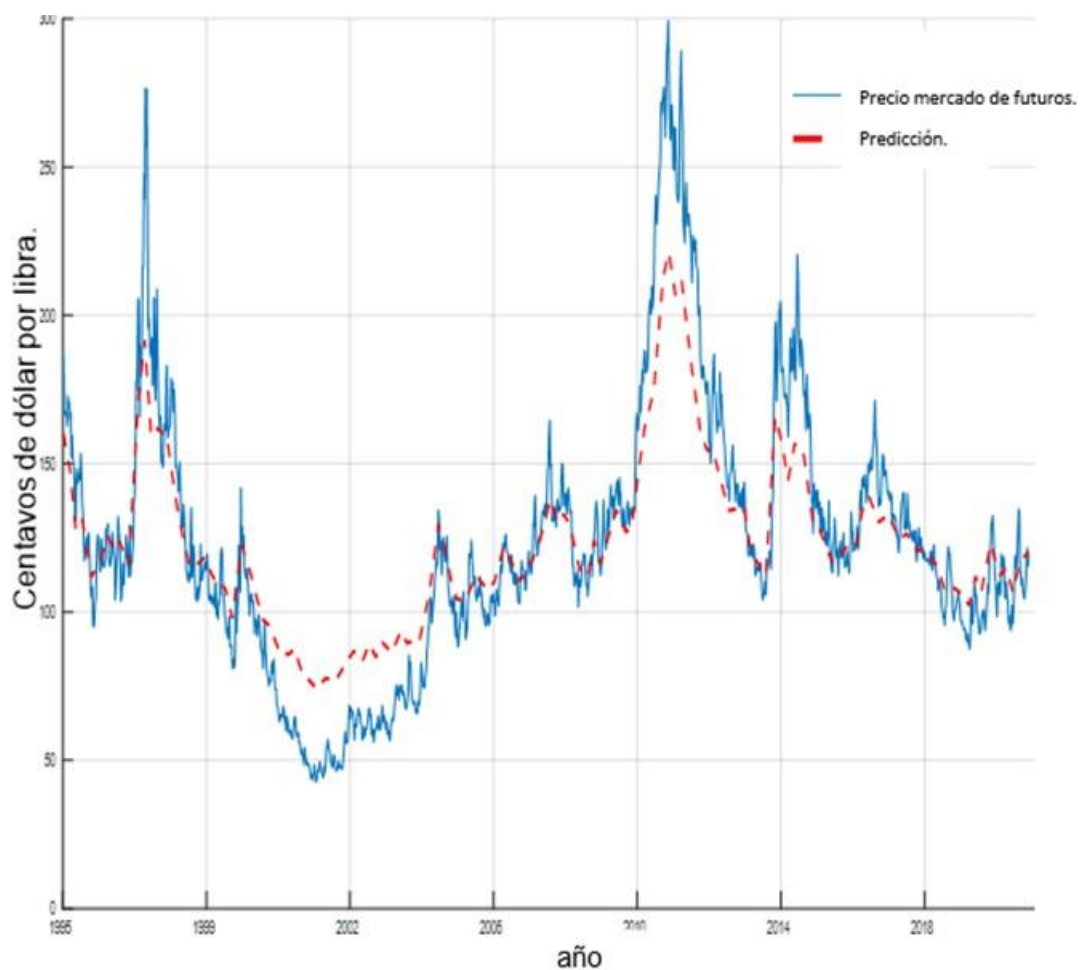


Figura 6. Precio de cotización del café en el mercado de futuros vs predicción del movimiento Browniano.Fuente: Elaboración propia.

Con los datos de la columna 6 del cuadro 6 y auxiliándonos de la ecuación 22 se estimó la proyección de un escenario bajista del precio que reciben los caficultores por su producto (Figura 8), esto es así, ya que la idea principal de este trabajo es demostrar que el mercado de futuros puede ser un gran aliado en este escenario.

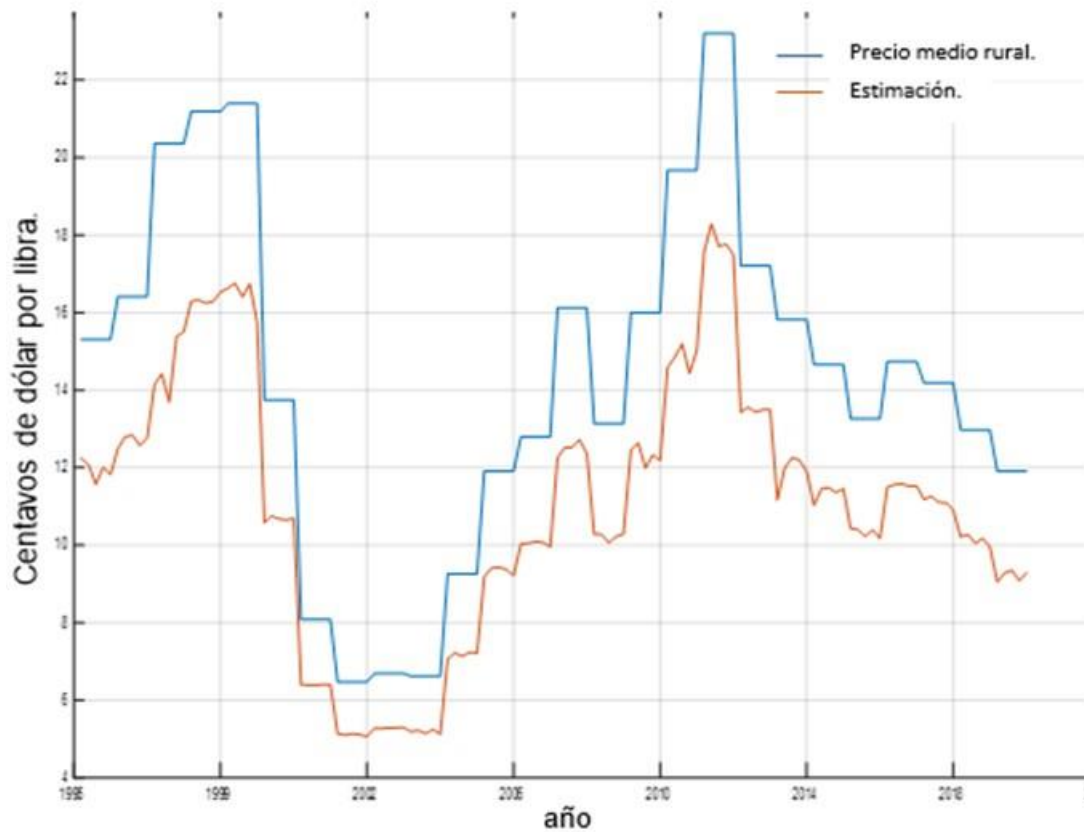


Figura 7. Precio medio rural vs estimación mediante un árbol binomial a la baja.Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para tener completa la ecuación 30:

$$W_2 = \frac{\mu_x - P_p}{m\sigma_x^2} + \frac{Q[(y - \mu_y)(x - \mu_x)]}{\sigma_x^2}$$

hace falta calcular la media condicional del precio en el mercado de futuros (μ_x) y la media condicional del precio en el mercado spot (μ_y), estas las calcularemos mediante el modelo ARIMA auxiliándonos del software MATLAB y ocupando los datos del cuadro 7, específicamente las columnas 5 y 7.

Primeramente, corremos los datos en el programa para μ_x , y Matlab nos entrega los resultados mostrados en el Cuadro 2:

ARIMA (1,0,0)

$$y_t = c + \varepsilon_t$$

Cuadro 2. Resultado del ajuste de curva de la media condicional del precio esperado en el mercado de futuros (Mx).

Parámetro	Valor	Error estándar
Constante	122.9761	2.9734

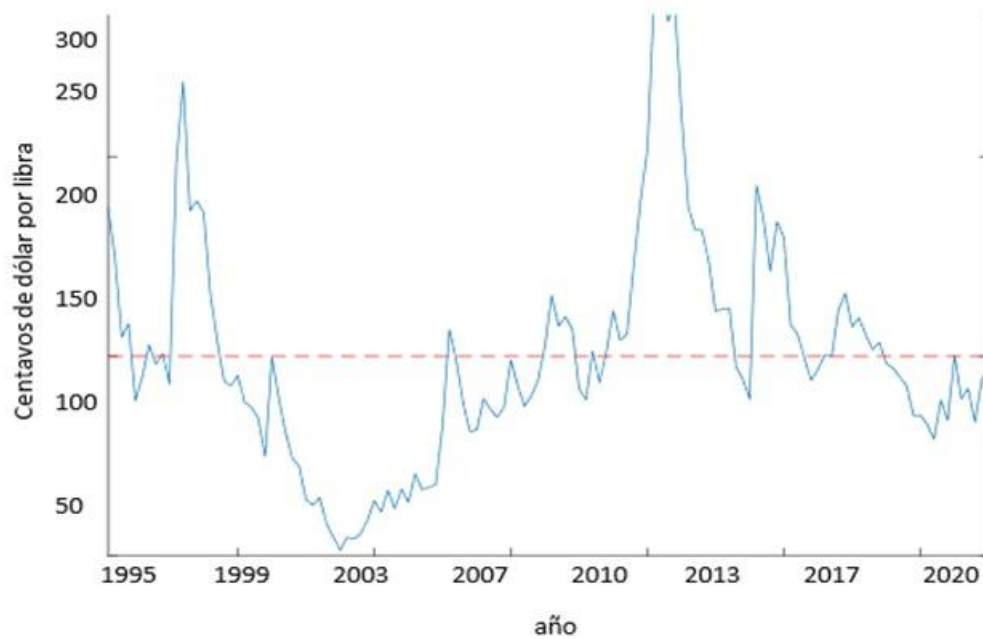


Figura 8. Estimación de la media condicional del precio en el mercado de futuros. Fuente: Elaboración propia.

Después, se corrió los 136 datos para obtener la media condicional del precio spot μ_y , y Matlab nos entrega los resultados mostrados en el Cuadro 3:

ARIMA (1,0,0):

$$y_t = c + \varepsilon_t$$

Cuadro 3. Resultado del ajuste de curva de la media condicional del precio spot (My).

Parámetro	Valor	Error estándar
Constante	11.0736	0.29514

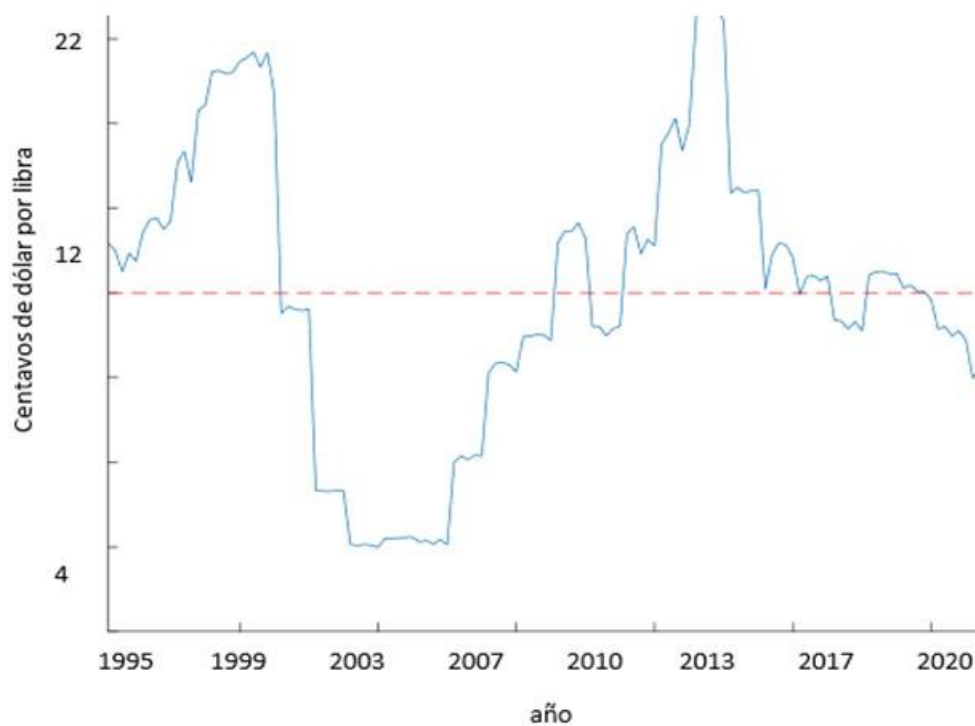


Figura 9. Estimación de la media condicional del precio spot.

Fuente: Elaboración propia.

Entonces, finalmente podemos escribir la ecuación 30 como:

$$W_2 = \frac{122.9761 - P_p}{9.8596m} + \frac{Q[(y - 11.0736)(x - 122.9761)]}{9.8596}$$

Donde: W2 representa el número de contratos óptimos que debe tomar el productor de café en el mercado de futuros para cubrir el riesgo que implica su producción en caso de una caída de precios en el mercado spot.

Analizando a detalle la ecuación 30 se puede observar que se compone de 2 términos, el primer término vemos que depende del precio pactado en el mercado de futuros (P_p) y del grado de aversión al riesgo del productor, el cual es difícil de estimar, ya que las personas tienen un diferente grado de aversión al riesgo, mientras m tienda a cero el primer término tiende a aumentar. Sin embargo, mientras el precio pactado sea mayor a la media condicional del precio en el mercado de futuros (122.9761), este valor será negativo. Razón por la cual se ha modelado el primer término de la ecuación 30.

Como se muestra en la Figura 11 existen valores menores a cero en el primer término de la ecuación, esto indica que mientras el precio pactado sea mayor a la media condicional del precio futuro la aversión al riesgo del productor es insignificante, sin embargo, estos valores negativos aún no cobran importancia, ya el primer término no es determinante para obtener un valor positivo en W2.

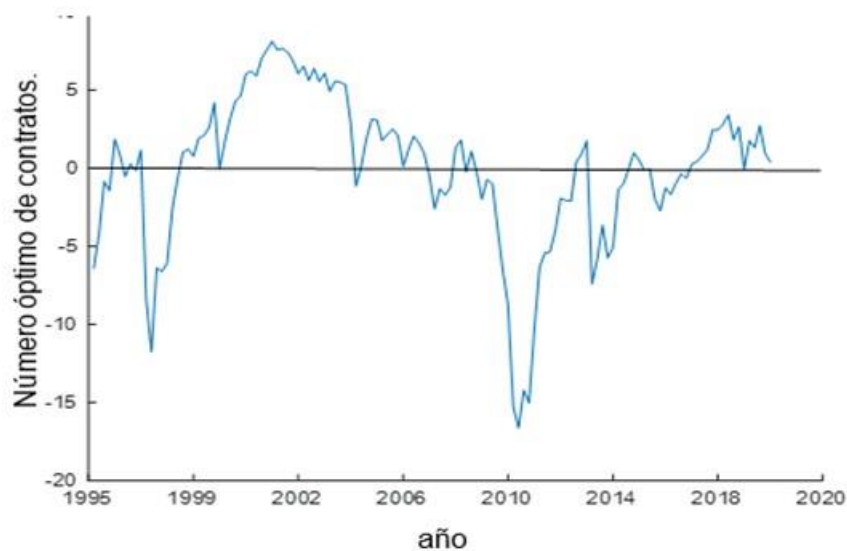


Figura 10. Número de contratos óptimos en función del precio pactado y la aversión al riesgo.Fuente: Elaboración propia.

La Figura 12 nos muestra el resultado del análisis de la segunda parte de la ecuación 30, la cual al contemplar la producción Q resulta determinante para obtener valores positivos en $W2$, ya que como bien sabemos, $W2$ no puede tener valores negativos, puesto que el menor número de contratos a tomar es cero, es decir, no tomar ningún contrato. Los valores inferiores a cero que muestra la gráfica son producidos al tener signos distintos en las diferencias $Y - My$ y $X - Mx$, es decir, cuando el mercado spot y el mercado de futuros siguen tendencias contrarias.

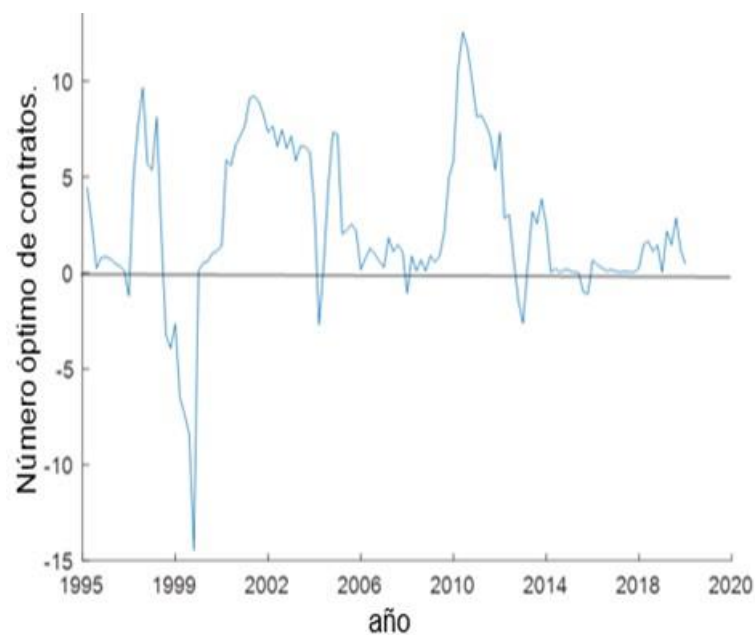


Figura 11. Número de contratos óptimos en función del precio pactado, aversión al riesgo, precio spot y precio futuro.Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se obtuvo los resultados para la ecuación 30, simulando la producción de café del productor, que hipotéticamente va de 1 tonelada de grano de café hasta 100 toneladas como lo muestran las figuras 13, 14 y 15. Si centramos nuestra atención en la Figura 14, observamos que hay resultados negativos para W_2 ; esto nos dice que cuando la producción (q) es pequeña, utilizar el mercado de futuros no nos trae ninguna ventaja.

Sin embargo, conforme aumenta la producción (Figuras 13, 15) los valores negativos para W_2 desaparecen, esto es un indicador contundente que mientras la producción sea pequeña no podemos utilizar o no es rentable utilizar el mercado de futuros como opción de cobertura de precios. También podemos observar en la Figura 13 que, aunque la producción aumente considerablemente, hay picos de “falta” en la ecuación 30. Analizando los datos de la tabla 2 nos dimos cuenta de que esos picos negativos están asociados a 3 características principales en los precios del mercado de futuros y los precios del mercado spot, estas características son:

- 1.- El precio real en el mercado de futuros está muy alejado de la media condicional M_x .
- 2.- El precio real del mercado spot está muy alejado de la media condicional M_y .
- 3.- Los precios en el mercado de futuros y en el mercado spot no siguen la misma tendencia. O dicho de otra manera no convergen.

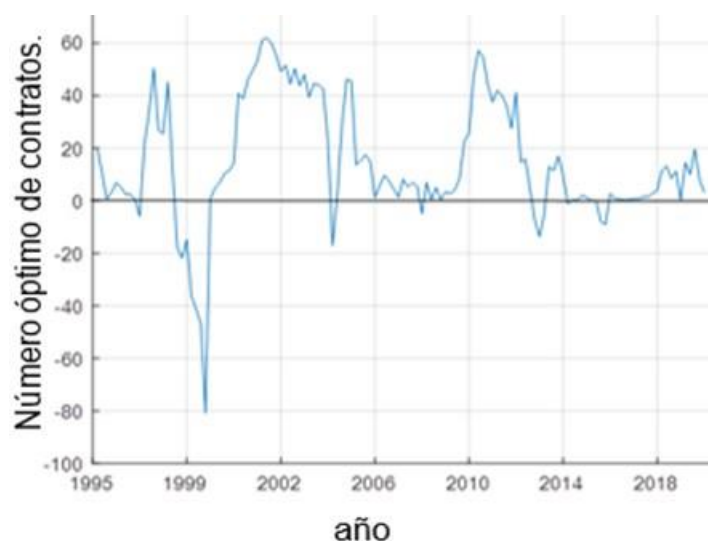


Figura 12. Número óptimo de contratos con una producción de 100 toneladas y aversión al riesgo cercana a 1. Fuente: Elaboración propia.

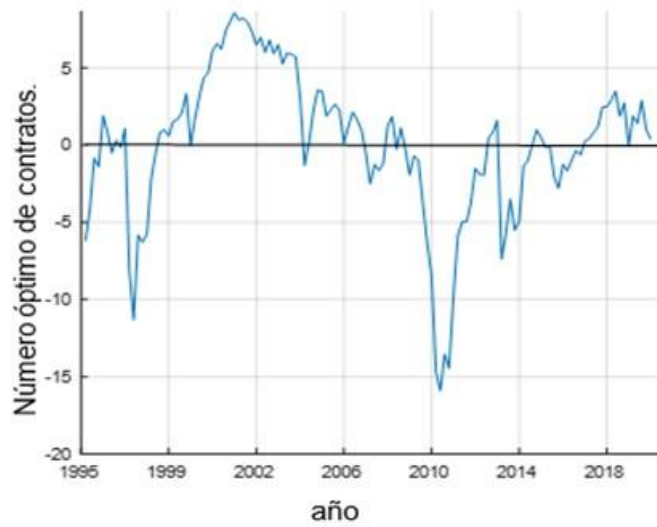


Figura 13. Número óptimo de contratos con una producción de 1 tonelada y aversión al riesgo cercana a 1. Fuente: Elaboración propia.

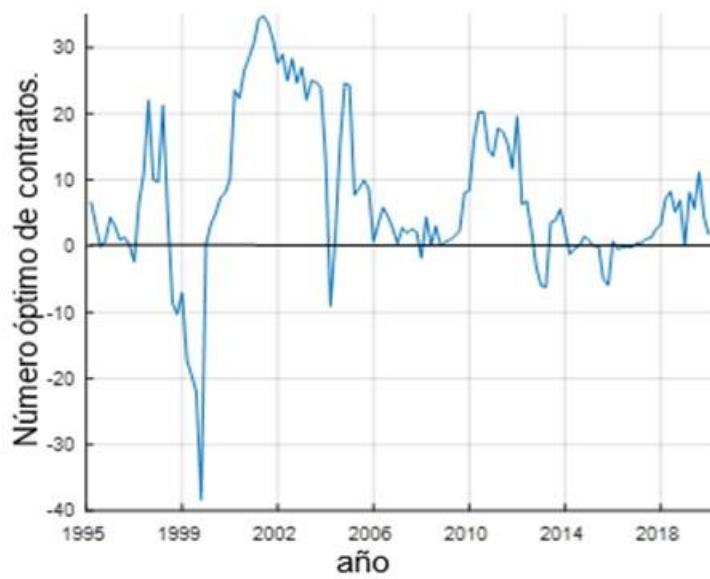


Figura 14. Número óptimo de contratos con una producción de 50 toneladas y aversión al riesgo cercana a 1. Fuente: Elaboración propia.

De igual forma variamos el parámetro m , que nos representa la aversión al riesgo de cada productor, viendo el primer término de la ecuación 30 nos damos cuenta de que m no puede valer cero, entonces decidimos darle valores de 0.3, 0.6, y 0.9, como lo muestran las figuras 16 y 17. En dichas figuras podemos ver que mientras el individuo sea menos propenso al riesgo no utilizara en gran medida el mercado de futuros cuando su producción es pequeña, también podemos observar que mientras m tiende a 1, el productor toma los contratos que dicta la ecuación 30. Es decir, asimila el riesgo que implica producir la cantidad q de café.

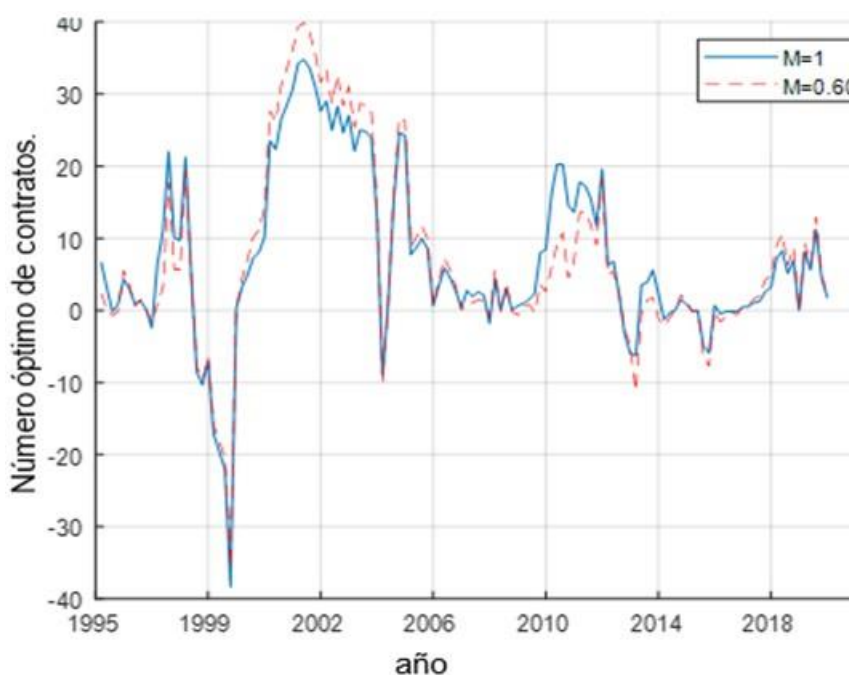


Figura 15. Número óptimo de contratos según el grado de aversión al riesgo. Para valores de $m=1$, $m=0.6$. Fuente: Elaboración propia.

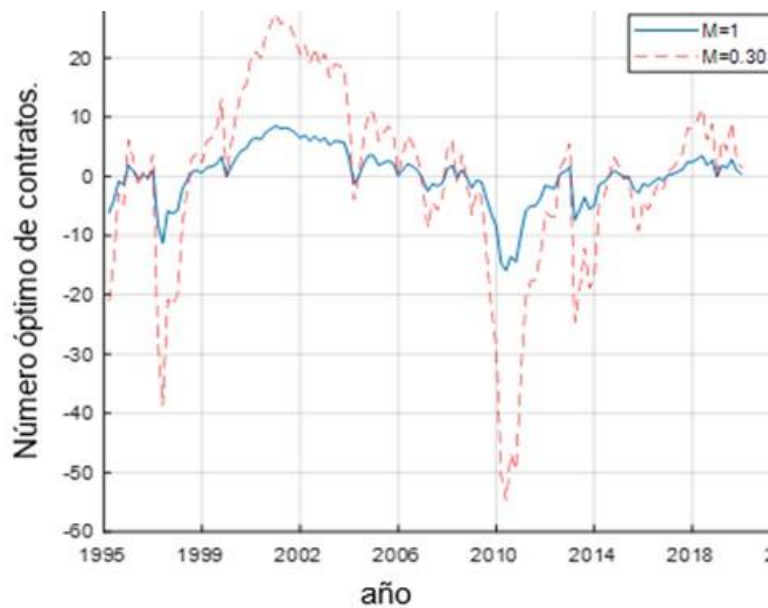


Figura 16. Número óptimo de contratos según el grado de aversión al riesgo. Para valores de $m=1$, $m=0.3$. Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 4 muestra los resultados de las gráficas anteriores, es decir, los valores para W_2 variando la cantidad q y el grado de aversión al riesgo (m), así como también el comportamiento de cada miembro de la ecuación 30.

Cuadro 4. Número óptimo de contratos con diferentes valores para las variables q , m .

Fecha	$m=1$; $q=37500\text{lb}$	$m=1$; $q=1\text{T}$	$m=1$; $q=50\text{ T}$	$m=1$; $q=100\text{ T}$	$m=0,30$; $q=1\text{T}$	$m=0,60$; $q=50\text{T}$	$m=0,90$; $q=100\text{T}$
05.03.1995	-1,98	-6,17	6,65	19,73	-21,17	2,36	19,01
05.03.2000	2,23	1,74	3,22	4,74	5,73	4,36	4,93
04.09.2005	10,44	3,55	24,63	46,14	10,83	26,71	46,49
07.03.2010	-0,16	-0,70	0,93	2,59	-2,39	0,45	2,51
06.12.2015	0,62	0,50	0,87	1,26	1,65	1,20	1,31
06.12.2020	0,87	0,42	1,80	3,21	1,34	2,06	3,26

Finalmente, para completar este trabajo de investigación se hizo el cálculo del ingreso a partir del 2010 que obtendría el productor si ocupara el mercado de futuros. En la figura 18 se puede observar que el ingreso con cobertura (línea roja) es ligeramente mayor en más ocasiones que el ingreso cuando no se ocupa el mercado de futuros como medio de cobertura. Cabe mencionar que para este cálculo se ocupó hipotéticamente una producción q de 37500 libras que es equivalente a un contrato en el mercado de futuros y una m (aversión al riesgo) de 0.60.

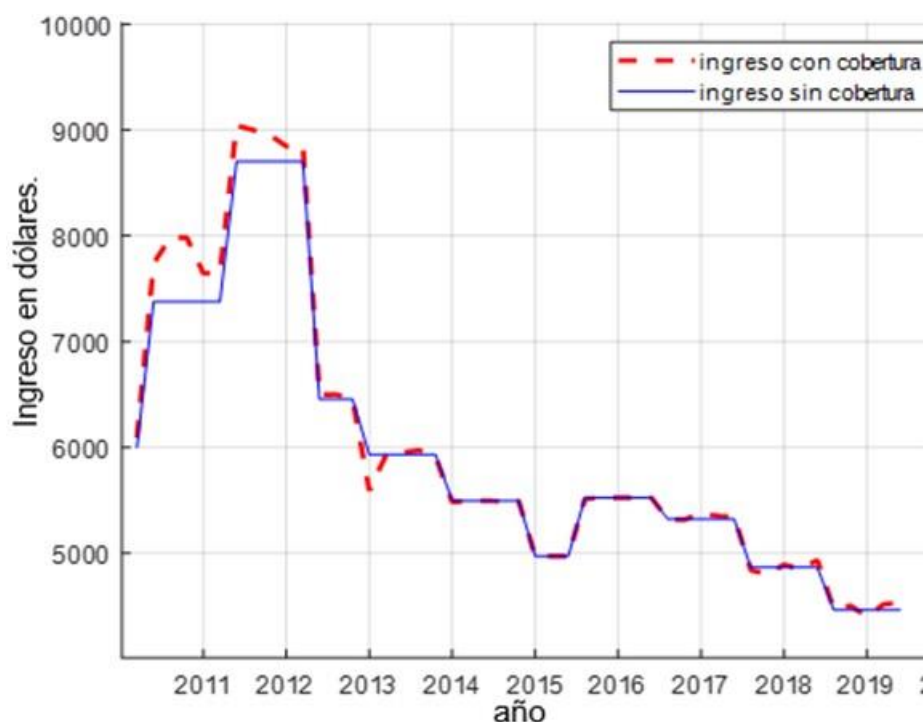


Figura 17. Ingreso con cobertura vs ingreso sin cobertura.

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro 5 muestra los valores numéricos del ingreso con y sin cobertura. La última columna de dicha tabla muestra la diferencia en dólares que el productor hubiera obtenido al usar el mercado de futuros. La sumatoria total de estas diferencias nos da la cantidad de 2417.53 USD. Esto quiere decir, que utilizar el mercado de futuros en el largo plazo siempre será conveniente para el productor, ya que su ingreso será mucho mayor que si no lo ocupara.

Cuadro 5. Ingreso con cobertura en el mercado de futuros vs ingreso sin cobertura.

Fecha	Número de contratos con $m=0,60$ y $q=50T$	Precio pactado CUSD/lb	Precio de venta CUSD/lb	Precio spot CUSD/lb	Ingreso con cobertura	Ingreso sin cobertura	Diferencia
05.12.2010	2,58	209,35	174,62	16,00	6090,17	6000,52	89,64
04.12.2011	6,74	224,65	183,82	19,67	7652,36	7377,15	275,21
02.12.2012	18,30	142,10	134,20	23,20	8844,82	8700,26	144,57
07.07.2013	2,50	119,15	120,34	17,21	6451,20	6454,17	-2,97
07.12.2014	-1,08	173,00	152,74	15,82	5909,75	5931,55	-21,80
01.03.2015	-2,19	136,50	130,82	14,66	5485,05	5497,47	-12,42
04.12.2016	-0,15	135,55	130,32	13,26	4973,13	4973,94	-0,81

03.12.2017	0,65	120,60	121,18	14,74	5525,54	5525,91	-0,37
02.12.2018	4,80	98,80	108,24	14,19	5274,91	5320,24	-45,33
01.12.2019	-0,05	123,70	123,18	12,98	4865,99	4866,02	-0,03
06.12.2020	2,06	119,10	120,31	11,91	4462,99	4465,48	-2,49

Discusión

Los resultados de esta investigación demuestran que el comportamiento del precio spot del café no coincide con la ecuación diferencial estocástica que rige el precio de las materias primas de productos agrícolas. En este sentido nos preguntamos, ¿Qué tan aplicable es la teoría en la vida real? ¿En México habrá sectores cafetaleros que traten de seguir la teoría para tener una idea de donde estará el precio futuro?

Esta investigación indica que el mercado de futuros se puede ocupar como herramienta de cobertura, sin embargo, es necesario precisar que en la actualidad los operadores en el mercado de futuros casi nunca llegan al cierre de contrato (entrega del producto físico), es decir, liquidan las operaciones antes. En este sentido se tendría que responder preguntas como, ¿Cuándo es el momento de liquidar los contratos?, ¿Cuánto tiempo se debe tener la posición abierta?, esta interrogativa abre paso al análisis del resultado de la tabla 4 y 5 que nos muestra que el ingreso del productor es susceptible al tamaño de la producción q y al nivel de riesgo que este dispuesto a asumir, afectando así el ingreso final, y desde luego surge la otra interrogativa, ¿Cuál es la aplicación práctica para los productores?, ¿cómo se tendrían que organizar a los pequeños productores para que puedan entrar a operar el mercado de futuros?.

Conclusiones

En este trabajo se ha demostrado que el mercado de futuros puede ser una alternativa en la cobertura de precios teniendo como base una producción medianamente mayor y un modelo de pronóstico correcto, ya que como podemos ver en la sección de resultados, existen sesgos en el modelo cuando los precios en el mercado de futuros y en el mercado spot no siguen la misma tendencia.

También se calculó el número de contratos óptimos que maximizaban el ingreso del productor en el periodo comprendido entre 1995 y 2020. La conformación de la ecuación con la que se calculó el número de contratos óptimos sugiere que, para productores con una aversión al riesgo cercana a cero, el tamaño de la cobertura es cero cuando los precios están muy lejos de su media condicional y va aumentando conforme esa diferencia se hace pequeña.

Por otro lado, para productores con una aversión al riesgo cercana a 1, la cobertura es generalmente proporcional a la diferencia entre el precio y su media condicional, el modelo sugiere que para que un productor pueda sacar ventaja del mercado de futuros, debe tener al menos una producción ligeramente mayor a 50 toneladas o su equivalente en libras, es decir, aproximadamente el equivalente a 3 contratos de futuros.

Los resultados anteriores sugieren que los productores podrían estar motivados a la utilización de contratos de futuros como una estrategia de cobertura, ya que en los cálculos efectuados en la sección de resultados se demostró que, en un periodo largo de tiempo, aunque las ganancias no sean extraordinarias el ingreso siempre será mayor cuando se utiliza dicha cobertura que cuando no se utiliza.

Literatura citada.

Aragó, V. y Ángeles, Ma. (2002). Cobertura con contratos de futuros. España. Revista de economía aplicada. 28(10):39-62.

Carcamo, U. C. (2008). Modelos de tiempo continuo para commodities agrícolas en Colombia. Colombia. Ad-minister. 11(1):42-63.

Díaz, S. J. (2018). Teorías de carteras. España. Consultado en: <https://ahorrainvierte.com/la-teoria-de-carteras-o-como-se-construyen-las-carteras-de-inversion/>.

Domadar, G. (2009). Econometria. México: Mc.Graw Hill, Segunda edicion.

Garcia de la Vega, V.M. y Ruiz, A. (2009). Modelos Estocasticos para el Precio Spot y del Futuro de Commodities con Alta Volatilidad y Reversion a la Media. México. Revista De Administracion, Finanzas Y Economia. 2(3):1-24.

González, R. 2007. Los mercados financieros. México. Financialred. Consultado en: <https://www.losmercadosfinancieros.es/historia-de-los-mercados-de-derivados.html>.

Gutiérrez, R. (2018). Predicción de las razones de cobertura cruzada optima en el mercado del petróleo mexicano. México. Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF. 1(13):48-67.

Hull, J. C. (2009). Introduccion a los Mercados de futuros y opciones. México: Pearson educacion.

López, J. F. (2019). Modelo de markowitz. México. consultado en : <https://economipedia.com/definiciones/modelo-de-markowitz.html#:~:text=As%C3%AD%20pues%2C%20en%201952%20Markowitz,la%20diversificaci%C3%B3n%20sobre%20este%20%C3%BAltimo.>

Markowitz, H. (1952). Portfolio Selection.EE.UU. The journal of finance.1(7):77-91.

Mandelbrot, B. (1963). The variation of certain speculative prices.EE.UU.The journal of business 1(36):394-394.

Medellin, U. D. (2017). Introducción a las series de tiempo. Colombia:CINEP.

Merton C.R. (1973).Theory of rational option pricing.EE.UU. The bell journal of economics and management science.1(4):141-183.

Montero, C. (2016). Modelos practicos de administración de riesgos. Mexico: Ediciones Fiscales ISEF.

Navalpotro, J. S. (2003). Teorias y modelos macroeconomicos. Madrid: ESIC España.

Perales, G. (2010). The theory of storage and price dynamics of agricultural commodity, futures: the case of corn and wheat.México.Ensayos revista de economia. 1(29):1-22.

Rincón, L. (2006). Introducción a las ecuaciones diferenciales estocásticas. México: Uaa.

Rincón, L. (2007). Curso intermedio de probabilidad. México: Universidad Autónoma de Aguascalientes.

Solares, D. O. (2011). Contrato C, principales características. Guatemala.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014. Consultada el 19 de marzo del 2020 en: <http://w4.siap.gob.mx/sispro/portales/agricolas/cafe/Descripcion.pdf>.

Varangis, P.; Siegel, P. and Giovannucci, D. (2003). Dealing with the coffee crisis in central America impacts and strategies”, World Bank Policy Research Paper, núm. 2993.

Working, H. (1953). Futures trading and hedging. EE.UU. American economic review. 3(43):314-343.

Wikipedia. (2021). Expectativa racional. Consultado en: https://es.Wikipedia.org/wiki/Teor%C3%ADa_de_las_expectativas_racionales.

Conclusiones generales.

En el presente trabajo se concluye que el mercado de futuros del café puede analizarse de manera sencilla (primer artículo) o de manera compleja (segundo artículo) y ambos coinciden con lo que dicta la teoría, es decir, que el mercado de futuros es una buena alternativa para ser usado como medio de cobertura del riesgo de precio por los productores. También se tiene que el ingreso depende de la producción que se espera tener (sacar al mercado), del juego especulativo en bolsa y del precio spot que se tiene al momento de hacer la evaluación y de la aversión al riesgo de cada productor.

Los ingresos con cobertura siempre serán mayores a los ingresos sin cobertura, tanto en una tendencia alcista como en una bajista, por otro lado, al utilizar el mercado de futuros como medio de cobertura el productor obtiene un ingreso menor en el escenario alcista, la razón principal son los cortos que toma en el mercado de futuros, es decir, él prevé una caída en los precios y pasa todo lo contrario, aun así, su ingreso sigue siendo superior comparado con la de un productor sin cobertura. También podemos ver que entre más lejos (tiempo) esté el ciclo productivo que se quiera cubrir la diferencia entre el ingreso sin cobertura vs el ingreso con cobertura aumenta, esto es un indicador que nos dice que entre más tiempo pase la estimación a través de un árbol binomial de probabilidad es menos precisa y poco fiable.

Por otra parte, en el modelo estocástico (segundo artículo) existen valores menores a cero, esto indica que mientras el precio pactado sea mayor a la media condicional del precio futuro la aversión al riesgo del productor es insignificante. Los valores inferiores a cero son producidos al tener signos distintos en las diferencias $Y - My$ y $X - Mx$, es decir, cuando el mercado spot y el mercado de futuros siguen tendencias contrarias.

Se observó también que cuando la producción (q) es pequeña, utilizar el mercado de futuros no trae ninguna ventaja y que mientras el individuo sea menos propenso al riesgo no utilizara en gran medida el mercado de futuros,

también podemos observar que mientras m tiende a 1, el productor toma los contratos que dicta el modelo propuesto, es decir, asimila el riesgo que implica producir la cantidad q de café.

Los resultados anteriores sugieren que los productores podrían estar motivados a la utilización de contratos de futuros como una estrategia de cobertura, ya que en los cálculos efectuados en la sección de resultados se demostró que, en un periodo largo de tiempo, aunque las ganancias no sean extraordinarias el ingreso siempre será mayor cuando se utiliza dicha cobertura que cuando no se utiliza.