

Cuantificación de la reconversión de un sistema productivo de aguacate hass, con enfoque nacional hacia otro orientado al mercado internacional, aplicando la metodología de opciones reales

Héctor Fabio López Castaño¹

hflopezc@eafit.edu.co

Trabajo para optar al título de Magister en Administración Financiera

Asesora: Jessica Braga

Universidad EAFIT
Maestría en Administración Financiera
Escuela de Economía y Finanzas
Medellín
2020

¹ Ingeniero Agrónomo, Especialista en Administración y Evaluación de Proyectos. Docente investigador de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, ECAPMA de la UNAD.

Contenido

Cuantificación de la reconversión de un sistema productivo de aguacate hass, con enfoque nacional hacia otro orientado al mercado internacional, aplicando la metodología de opciones reales	1
Contenido	2
Resumen	4
1. Introducción	6
2. Marco teórico	8
2.1 Valoración de proyectos	9
2.2 Teoría de opciones reales	10
2.3 Modelo binomial	11
2.4 Estado del arte.....	11
2.4.1 Opciones reales en café.....	12
2.4.2 Opciones reales en aguacate.....	13
3. Metodología.....	15
3.1 Fuente de datos	15
Tabla 1. Costos operacionales de insumos	16
Tabla 2. Costos operacionales de mano de obra	17
Tabla 4. Indicadores de producción para el cultivo del aguacate hass en Popayán.....	18
Tabla 5. Resultado de la prueba Dickey-Fuller en el software R Studio	20
Tabla 6. Pruebas de normalidad sobre las series de datos.....	21
3.2 Modelación del precio futuro del aguacate hass	21
Tabla 7. Precios de venta del aguacate hass de acuerdo con el destino	22
3.3 Estimación de la volatilidad del proyecto.....	22
Figura 1. Volatilidad del flujo de caja.....	23
4. Resultados	23
Tabla 8. Valoración del proyecto a partir del VPN.....	24
Tabla 9. Parámetros de entrada para el árbol del subyacente	25
Figura 2. Árbol binomial del activo subyacente.....	25
Tabla 10. Parámetros de entrada para el árbol de la opción real	26
Figura 3. Árbol de la opción de diferir la reconversión del proyecto	26
5. Conclusiones y recomendaciones.....	28
Referencias	30

Lista de tablas

Tabla 1. Costos operacionales de insumos	16
Tabla 2. Costos operacionales de mano de obra	17
Tabla 3. Inversiones para certificación en BPA	17
Tabla 4. Indicadores de producción para el cultivo del aguacate hass en Popayán	18
Tabla 5. Resultado de la prueba Dickey-Fuller en el software R Studio.....	20
Tabla 6. Pruebas de normalidad sobre las series de datos	21
Tabla 7. Precios de venta del aguacate hass de acuerdo con el destino.....	22
Tabla 8. Valoración del proyecto a partir del VPN	24
Tabla 9. Parámetros de entrada para el árbol del subyacente.....	25
Tabla 10. Parámetros de entrada para el árbol de la opción real.....	26
Tabla 11. Valor del proyecto incorporando flexibilidad	27

Lista de figuras

Figura 1. Volatilidad del flujo de caja	23
Figura 2. Árbol binomial del activo subyacente	25
Figura 3. Árbol de la opción de diferir la reconversión del proyecto	26

Resumen

Teniendo en cuenta las limitaciones que presenta el criterio del VPN, para evaluar la irreversibilidad y la incertidumbre de la reconversión de un cultivo tradicional de aguacate hass hacia uno con enfoque internacional, se aplicó la metodología de las opciones reales, con el fin de conocer el costo de oportunidad que representa no realizar dicha reconversión.

Partiendo de los indicadores de costos y actividades, recomendados por asistentes técnicos para productores del centro del departamento del Cauca, se encontró que la opción de diferir la reconversión representa un costo de oportunidad a cada productor de aguacate hass en promedio de \$12.441.975,55 por hectárea; este resultado es importante, si se tiene en cuenta que el área mínima rentable del cultivo en el país está alrededor de las 2.5 hectáreas, lo cual muestra la importancia de fomentar en el país la implementación de estándares de calidad internacionales como la GlobalGAP entre pequeños productores.

Palabras claves: Finanzas agrícolas, Agronegocios, Decisiones de inversión.

Abstract

Taking into account the limitations presented by the NPV criterion to assess the irreversibility and uncertainty of the conversion of a traditional hass avocado crop to an international approach, the methodology of real options was applied in order to know the cost of opportunity that represents not doing such conversion

Based on the cost and activity indicators recommended by technical assistants for producers in the center of the department of Cauca, it was found that the option of deferring the conversion represents an opportunity cost for each hass avocado producer on average of \$ 12,441,975.55 per hectare; This result is important, taking into account that the minimum profitable area of the crop in the country is around 2.5 hectares, which shows the importance of promoting in the country the implementation of international quality standards such as the GlobalGAP among small producers

Key words: Agricultural Finance, Agribusiness, Investment Decisions.

1. Introducción

En Colombia la producción de aguacate está en cabeza principalmente de pequeños productores, que representan el 75% de la producción nacional (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR, 2018), de la cual normalmente solo exportan el 40%, debido a que carecen tanto de acompañamiento técnico como financiero, que les permita realizar las tareas necesarias para que puedan alcanzar estándares de producción con buenas prácticas agrícolas, lo cual les posibilitará obtener mayores ingresos.

A pesar de lo anterior, en los últimos años tanto el gobierno nacional como distintas entidades públicas y privadas de apoyo a la agricultura, han enfocado sus esfuerzos en acompañar a los productores agrícolas para que conviertan sus cultivos tradicionales en empresas y asociaciones agrícolas con visión de mercado mundial, dado que las proyecciones de los precios y las exportaciones del aguacate a nivel internacional, muestran un escenario promisorios para convertir al aguacate en un producto estrella, respaldado por la tendencia histórica de los últimos años que indican una proyección al alza tanto en el precio, como en el consumo per cápita a nivel internacional (Arias, Velásquez, & Montoya, 2018).

Al respecto, (Serrano & Brooks, 2019) (citando a FAOSTAT, 2012), señalan que en promedio, los precios de venta por kilo de aguacate exportado desde Colombia son de 2,2 dólares estadounidenses, mientras que a los productores, incluyendo los que venden para el mercado nacional o internacional, se les paga desde 0.33 USD hasta 1.85 USD, lo cual señala la importancia para los productores de contar tanto con mayores niveles de precios de venta de sus productos, así como con estabilidad en los mismos; ambos generados por los contratos de venta establecidos con aliados comerciales.

En este sentido, (Oya, Schaefer, & Skalidou, 2018), confirman los efectos positivos en productores colombianos al contar con aliados comerciales, lo cual se refleja en el nivel de

aumento de precios de venta, mayores ingresos y aumento de la escolarización de las familias pertenecientes a productores de aguacate hass, que producen bajo estándares en Buenas Prácticas Agrícola, BPA; por otra parte, (Wollni, 2014), encontró con relación a los factores que determinan el alcanzar una certificación, que un apoyo decidido por parte de los exportadores y permanecer con un aliado comercial de manera estable, son los factores más importantes que influyen en la implementación y renovación de la certificación más conocida a nivel mundial en Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), como lo es la GlobalGAP.

Sin embargo, una de las principales limitantes para alcanzar la certificación GlobalGAP, son las inversiones en los cultivos que los productores deben hacer, donde se estima que para Colombia de acuerdo a (M. Benavides, comunicación personal, 30 de agosto de 2019), los costos están cerca de los 2.5 millones de pesos por hectárea (ha), representados principalmente en adecuación de infraestructura, contratación de personal calificado, insumos y otras reconversiones al sistema productivo, que llevan al productor a evaluar la conveniencia o no de adoptar dichos estándares internacionales.

Buscando presentar una alternativa de evaluación que dé argumentos a las entidades de apoyo a la agricultura, para convencer a los pequeños productores de aguacate hass del país sobre realizar esta reconversión, el actual trabajo busca aplicar la metodología de opciones reales para responder a la pregunta de investigación, ¿Qué tan rentable es para un productor de aguacate hass reconvertir su sistema productivo tradicional hacia otro enfocado al mercado internacional, evaluado mediante la metodología de opciones reales?

2. Marco teórico

En los últimos años nuestro país ha experimentado un fuerte incremento en la siembra de aguacate hass, debido a la aceptación del fruto tanto a nivel nacional como internacional, el cual se destaca por su alto contenido de vitaminas, minerales y grasas insaturadas, así como por la facilidad para su consumo, dado el menor tamaño frente a otras variedades.

Según el (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR, 2018), Colombia es el cuarto productor mundial de aguacate hass, y el tercer en área cosechada, gracias a un incremento de 35.114 ha nuevas sembradas en el año 2018, lo que representa un aumento del 7% frente al 2017.

A la par del aumento en el establecimiento del cultivo del aguacate en Colombia, también se presentó una gran dinámica en la exportación de este durante los últimos cuatro años, en la que, de 1.760 toneladas en el 2014, se pasó a 37.800 toneladas enviadas al exterior, reflejando un crecimiento exponencial del 2.147%, siendo el principal país de destino Holanda, seguido por el Reino Unido y España.

En este sentido, el Ministerio de Comercio (Mincomercio, 2019) reportó que, para el primer semestre del 2019, las exportaciones aumentaron un 37.6%, representadas en US\$52,9 millones, donde Colombia cuenta con un potencial para realizar nuevas siembras de 200.000 hectáreas, que actualmente benefician a más de 50 mil personas involucradas de manera directa o indirecta en el país, lo cual remarca la importancia de apoyar este tipo de actividades económicas por el gran impacto social.

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, (2018), los costos de producción para una hectárea de aguacate hass, medianamente tecnificada, en promedio están sobre los \$19.136.300, así como cada año se presenta un incremento del 5% en los costos de

producción hasta el séptimo año, donde estos se estabilizan; estos costos están principalmente representados por agro insumos, maquinaria y herramientas con un 69%.

Para la zona centro del departamento del Cauca, los costos de producción por hectárea de aguacate tecnificado están cercanos a los \$12.000.00 (J. Camacho, comunicación personal, 12 de julio de 2019); sin embargo, si agregamos a estos rubros las inversiones y costos de la asistencia técnica, esta cifra aumenta cerca de 2 millones de pesos por año, por cada hectárea.

2.1 Valoración de proyectos

Es común encontrar en la bibliografía sobre evaluación de proyectos, herramientas derivadas de la teoría financiera como el análisis del Flujo de Caja Descontado (FCD), el cual ha sido uno de los principales criterios de decisión a la hora de invertir en proyectos; al respecto Myers (1984), a mediados de los años 80, ya resaltaba como la teoría se reducía al uso del criterio del Valor Presente Neto (VPN), como principal método de escogencia de inversión de un proyecto, a través de la expresión:

$$(1) VA = F/(1+I)^n$$

Al respecto Montañez (2011), señala que “el VPN es el valor monetario que resulta de la diferencia entre el valor actual de todos los ingresos y el valor actual de todos los egresos calculados en el flujo financiero neto, teniendo en cuenta la tasa de interés de oportunidad” (p. 134), de acuerdo con la siguiente expresión:

$$(2) VAN = \sum VA \text{ Ingresos} - \sum VA \text{ Egresos}$$

En este sentido, Hull (2018) afirma que este método de valoración tampoco es adecuado, ya que generalmente se suele aplicar un factor de multiplicación precio/ganancias a las ganancias actuales, pues normalmente una empresa muestra resultados negativos los primeros años, a

través del proceso de penetración y conquista de mercado, por lo cual las compañías y proyectos recientes deben evaluarse estimando ganancias futuras y flujos de efectivo a través de distintos escenarios.

De igual manera, Dixit & Pindyck (1994), señalan con relación al VPN que, si una compañía no hace una inversión en el presente, no lo hará en el futuro o si, por el contrario, los gastos incurridos en una inversión se pueden deshacer solo si las condiciones del mercado son peores de lo anticipado, esto demuestra la poca flexibilidad bajo los supuestos con los que opera el VPN.

2.2 Teoría de opciones reales

Las opciones reales (OR), son definidas como importantes fuentes de flexibilidad administrativa, que están inmersas o que pueden llegar a integrarse a activos corporativos existentes (Allen, Bhattacharya, Rajan, & Schoar, 2008). Ejemplo de ellas pueden ser desde un terreno cultivable, pasando por una patente de explotación de una variedad de cultivo, hasta una oportunidad de expansión de una multinacional agropecuaria, entre otros.

De esta manera, Mascareñas (2007), señala que las opciones reales están compuestas en función de seis variables principales:

a) El precio del activo subyacente (s): hace referencia al valor presente de los flujos de caja futuros esperados para el proyecto; en el contexto financiero, corresponde al precio del activo subyacente en el momento de pactarse la opción.

b) El precio de ejercicio (x): señala el monto por pagar al adquirir el activo subyacente real con sus respectivos flujos de caja; en el caso de una inversión corresponde al desembolso inicial, o si se trata de una opción de venta, se refiere al monto que el titular del activo subyacente tiene derecho al venderlo; en el contexto financiero, señala el monto sobre el cual el titular de la

opción puede ejecutarla, o lo que es igual, el valor a pagar por adquirir el activo subyacente (call), o el monto que le pagarán por venderlo (put).

c) El tiempo hasta el vencimiento (t): período de tiempo que posee el propietario para poder ejecutar la acción.

d) La volatilidad (σ): también denominada el riesgo, es hallada a través de la varianza o la desviación típica de los rendimientos del subyacente. De igual manera, señala la volatilidad del subyacente donde su precio promedio es S .

e) El interés libre de riesgo (r_f) o el precio del dinero en un período de tiempo.

f) Los dividendos (D): monto generado por el activo subyacente siempre y cuando el propietario no ejerza la opción real; de igual manera, en el contexto financiero, se refiere a la suma originada por el subyacente en el período de tiempo que el poseedor de la opción la sustenta y no la ejecuta. Cuando la opción es tipo call, este monto lo pierde el acreedor de la opción.

2.3 Modelo binomial

Cuando mencionamos el modelo binomial, es importante recordar el concepto base de la distribución binomial desarrollada por Jacob Bernoulli, en el que es posible trabajar con la probabilidad de éxito (p) y fracaso ($q-1$), en una secuencia de una cantidad n de ensayos. Para el caso de la aplicación de estos conceptos, Cox, Ross & Rubinstein (1979), propusieron el modelo binomial, el cual utiliza el éxito y fracaso como opciones de probabilidad de subida (p) y bajada ($q-1$) en el precio del activo (Trigeorgis, 1991).

2.4 Estado del arte

Diversos autores señalan a Dixit & Pindyck (1994), como los primeros que aplicaron la teoría de las opciones reales en la valoración de proyectos, bajo condiciones de incertidumbre; a partir

de allí, se ha ido ampliando la aplicación de esta metodología a los distintos sectores económicos, hasta llegar al área agrícola donde, a continuación, se muestran los principales referentes de su aplicación en este sector en América Latina y Colombia.

2.4.1 Opciones reales en café

Uno de los principales referentes de la aplicación de las opciones reales en la agricultura en Latinoamérica, lo constituye el trabajo de Juárez & Akaki (2011), en el que evaluaron la conversión del sistema productivo tradicional del café hacia uno de tipo orgánico, y el cambio tecnológico que éste representa, a partir de la modelación del caso como una opción real compuesta, semejante a una opción de venta americana, para cada uno de los tres primeros años que toma la transición de un sistema productivo al otro, como lo señalan Fernández & Bustamante (2009).

De esta manera, para la construcción de los flujos de caja, los autores proyectaron los ingresos desde un punto de vista determinístico, es decir, dejando constantes para cada año los precios de venta y la producción, con lo cual a diferencia de Ramírez (2013) y del actual trabajo, no se tiene en cuenta el comportamiento del mercado mundial del café y de *commodities* como el aguacate, con sus respectivas subidas y bajadas de precios, lo cual aleja el trabajo de la dinámica real de estos tipos de mercados.

Configurada como una opción real del tipo compuesta, de acuerdo con lo trabajado por Mascareñas (2005), el trabajo mostró las ventajas en términos de mayores ingresos y de una mayor estabilidad y continuidad de los flujos de fondos, que aporta el acceder al mercado internacional, debido a la reconversión del sistema productivo de café tradicional a uno orgánico que se evaluó en el trabajo.

Ramírez (2013) comparó el método de las opciones reales con la del VPN a la hora de evaluar la inversión en un cultivo del café; el autor establece la importancia de estimar el valor de la irreversibilidad en un cultivo de tardío rendimiento como el café, el cual presenta mayores costos e inversiones durante más de los 20 años de su ciclo productivo, frente a otros cultivos de rendimiento temprano o ciclo corto, que en comparación con cultivos como el café o el aguacate, no demandan altos flujos de inversión y sostenimiento.

Teniendo en cuenta que los precios son la variable más determinante en los ingresos, el autor hace un análisis de la estacionalidad de la serie histórica de los precios internacionales del café de los últimos 20 años, con el propósito de construir el mejor modelo para proyectar los flujos de ingresos futuros; para esto, se hacen pruebas de estacionalidad y normalidad, encontrando que el modelo de proyección más adecuado es un GARCH (1,1); posteriormente, siguió la metodología elaborada por Copeland y Antikarov (2003), (citada por Ramírez, 2013) para hallar la volatilidad del proyecto, necesaria para proyectar el árbol binomial de acuerdo a lo propuesto por Cox, Ross & Rubinstein (1979), a través del cual finalmente se valoró el proyecto por medio de la opción de posponer el inicio del mismo.

Como resultado, el autor encontró que el valor de invertir en un cultivo de café, teniendo en cuenta la flexibilidad de retrasar el inicio del mismo hasta que se tengan mejores precios de venta, resultó en un proyecto viable económicamente, ya que la valoración a través del VPN, mostró la no viabilidad del proyecto.

2.4.2 Opciones reales en aguacate

Uno de los primeros referentes de la aplicación de las opciones reales en aguacate que se conozca en América Latina, lo constituye el trabajo realizado por Sandoval & Espinosa (2016),

el cual se centró en comparar los ingresos recibidos por la venta de aguacate (*Persea americana* Mill), primero, desde un punto de vista diferenciado y, segundo, como cultivo tradicional al que no se da un valor agregado.

El trabajo tuvo como una de sus premisas principales el estudio de la volatilidad de los precios históricos del aguacate desde el año 2000 al 2013, en el que, a partir de dicho valor, construyeron los árboles binomiales, incorporando como factor de crecimiento el aumento de los ingresos derivados de diferenciar el aguacate en su presentación, transformación y ubicación en los estantes de supermercados. Luego se evaluó la opción de expandir dicho cultivo a 5 hectáreas, a través de las fórmulas de Black-Scholes, usando el criterio de la relación beneficio-costo.

A pesar de que el trabajo concluye que la relación beneficio-costo del cultivo diferenciado es mayor al tradicional, no se mostraron datos puntuales de los costos y los ingresos de las estrategias de diferenciación del aguacate que emplearon, así como de la proyección de la producción y los rendimientos del cultivo, para los años de evaluación del proyecto.

Un resultado similar encontró Gonzales & Vivares (2019), quienes hallaron que la valoración de la opción de ampliar el área de un cultivo de aguacate hass, aplicando opciones reales, mostró un incremento del valor del proyecto de 63%, en comparación con la metodología del Valor Presente Neto (VPN).

Para llegar a este resultado, los autores modelaron la evaluación del proyecto como una opción de ampliación, expresada como un proyecto con una inversión inicial en el año cero y sus

correspondientes flujos de caja futuros (VPN), más la opción de compra de un proyecto con su respectiva inversión futura, de la siguiente manera:

$$(4) \text{ Valor total del proyecto} = \text{VPN} + \text{Valor de la opción}$$

Los autores recalcan la poca aplicación de la metodología de las opciones reales en el sector agrícola en Colombia, específicamente en el cultivo del café, y tampoco se encontró algún antecedente para el cultivo del aguacate en Colombia, evidenciando la subutilización de esta metodología de valoración de proyectos en el sector.

3. Metodología

3.1 Fuente de datos

Los datos usados para el trabajo parten de los indicadores de costos establecidos para la asociación de productores de aguacate frutos del Campo de Popayán, para los próximos 10 años; esta estructura de los datos está dividida en los siguientes componentes:

- **Costos operacionales**

Son los desembolsos necesarios para ejecutar las labores de mantenimiento del cultivo, de acuerdo con las tablas 1 y 2, donde se puede observar que estas labores constan principalmente de mano de obra e insumos.

Tabla 1. Costos operacionales de insumos

Actividad	Unidad
INSUMOS	
Estudio de suelos	Muestras
análisis de agua	Muestras
Análisis foliar	Muestras
Árboles injertos	Unidad
Herramientas	Global
Fumigadora manual	Unidad
Fumigadora a motor	Unidad
Enmiendas	Bulto
Fertilizante químico	Bulto
Fertilizante foliar	Litros
Control de fitosanitario	Global
Trampas y cebos	Global
Instalación de sistema de riego, incluye motobomba	Global
Canastilla plástica 60 x 40 x 25	Unidad
Transporte Interno	Tonelada
Transporte de Insumos	Global

Fuente: Elaboración propia basado en Frutos del Campo, 2019

Tabla 2. Costos operacionales de mano de obra

Actividad	Unidad
MANO DE OBRA	
Preparación del lote	Jornal
Trazado – ahoyado	Jornal
Siembra y resiembra	Jornal
Desyerbas-planteo mecanizado	Jornal
Fertilización	Jornal
Manejo fitosanitario	Jornal
Manejo de riego y drenaje	Jornal
Podas	Jornal
Cosecha	Jornal
Empaque y transporte	Jornal

Fuente: Elaboración propia basado en Frutos del Campo, 2019

Adicional a estos rubros, se contemplan los relacionados con las adecuaciones necesarias para alcanzar una certificación en BPA, representados principalmente en adecuaciones de infraestructura, el pago de asistencia técnica especializada y la certificación en GlobalGAP (Tabla 3).

Tabla 3. Inversiones para certificación en BPA

Actividad	Unidad
INVERSIONES BPA	
Adecuaciones infraestructura	Global
Asistencia técnica especializada	Global
Certificación GlobalGAP	Global

Fuente: Elaboración propia basado en Frutos del Campo, 2019

- **Producción**

Aunque la producción de aguacate depende principalmente del número de plantas establecidas y las prácticas de producción y cosecha, para el presente trabajo se tomó como base para realizar las proyecciones para los próximos 10 años, hechas para la asociación Frutos del Campo, el Anuario Estadístico Sector Agropecuario, EVA (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR, 2017), como se aprecia en la Tabla 4.

Tabla 4. Indicadores de producción para el cultivo del aguacate hass

PRODUCCIÓN	Unidad de medida (Kg /ha)
AÑO 1	0
AÑO 2	0
AÑO 3	4.080
AÑO 4	6.120
AÑO 5	8.160
AÑO 6	10.200
AÑO 7	12.240
AÑO 8	12.240
AÑO 9	12.240
AÑO 10	12.240

Fuente: Elaboración propia basado en Frutos del Campo, 2019

- **Series de tiempo de los precios del aguacate hass en Colombia**

Con el propósito de identificar si la serie de tiempo usada para este trabajo era estacionaria, se planteó con la ayuda del software R Studio la prueba de Dickey-Fuller, la cual es un indicador de la estacionariedad de la serie de datos, de acuerdo con lo expresado por (Seyoum & Chan, 2012)

De esta manera, se planteó el modelo para los precios del aguacate hass en Medellín desde el 2013 hasta el 2019, obtenidos del SIPSA (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE, 2019), teniendo en cuenta los siguientes elementos:

$$(5) D_{it} = \lambda D_{it-1} + u_{it}$$

Donde $\lambda = 1$, D_{it} denota el precio y la cantidad del aguacate en el tiempo t , y u_{it} es el error independiente con media cero y varianza constante σ_u^2 . Sustrayendo D_{it} de la ecuación (5), se tiene:

$$(6) \Delta D_{it} = \gamma D_{it-1} + u_{it},$$

Donde $\gamma = (\lambda - 1)$

Del mismo modo se planteó la siguiente prueba de hipótesis:

H0: La serie de tiempo no es estacionaria ($\gamma = 0$) y presenta raíz unitaria

H1: La serie de tiempo es estacionaria ($\gamma < 0$) y no presenta raíz unitaria,

Donde el criterio de decisión se define por la expresión:

τ - estadístico > t-crítico,

lo cual significa que si el t- estadístico calculado en valor absoluto es mayor que p-value (t-crítico) en valor absoluto, indica que la serie es estacionaria y no existe raíz unitaria; de otra manera, si: t- estadístico < p-value en valor absoluto, entonces la serie no es estacionaria y presenta raíz unitaria.

De esta manera, la prueba Dickey–Fuller rechaza a un 5% de significancia estadística y la hipótesis nula que los precios del aguacate hass del 2013 al 2019 se comportan de manera no estacionaria (Tabla 5).

Tabla 5. Resultado de la prueba Dickey-Fuller en el software R Studio

Test Dickey-Fuller (t-estadístico)	Lag order	p-value (t-crítico)	Nivel de significancia	Interpretación
-6.1146	1	0.01	5%	Dado que t-estadístico > t-crítico, la serie de datos se comporta como estacionaria

Fuente: Elaboración propia, 2019

- **Rentabilidad mensual del precio del aguacate hass**

Para proyectar los precios futuros del aguacate, se procedió a comprobar la normalidad de los datos a través de la prueba Jarque-Bera, de curtosis y sesgo, a través del software R Studio, planteándose la siguiente hipótesis:

H0: La muestra proviene de una distribución normal.

H1: La muestra no proviene de una distribución normal.

Criterio de Decisión

Si P-value < Alfa, se rechaza Ho

Si P-value >= Alfa, no se rechaza Ho

Como resultado, se obtuvo que las pruebas de Jarque-Bera, de curtosis y sesgo mostraron que no existe evidencia estadística para rechazar Ho; es decir, podemos afirmar que la serie de datos del aguacate tiene una distribución normal (Tabla 6).

Tabla 6. Pruebas de normalidad sobre las series de datos

Test	Estadístico	P-value
Jarque-Bera	2.9068	0.164
Curtosis	2.4896	0.2855
Coefficiente de asimetría	0.39451	0.1325

Fuente: Elaboración propia, 2019

De esta manera se corroboró que la serie de datos cumple con todos los supuestos del modelo ARIMA, por lo cual se proyectaron los precios del aguacate basados en el mismo.

3.2 Modelación del precio futuro del aguacate hass

Con la ayuda de la librería Forecast del software estadístico R, se proyectaron los precios del modelo para el aguacate hass de calidad para el mercado nacional para los próximos dos años, y posteriormente se indexaron con las proyecciones del índice del precio al consumidor en concordancia con lo expresado en el Marco Fiscal de Mediano Plazo 2019 (Ministerio de Hacienda y Crédito Público, 2019), a partir del modelo ARIMA, como lo realizado por Montoya, Garcés, Giraldo & Echeverri (2014).

De igual manera, se proyectaron los precios de venta de las calidades de aguacate para exportación con certificación en BPA, amarrados al precio proyectado del dólar para los próximos diez años, debido a que generalmente las exportadoras establecen acuerdos de venta como mínimo a la TRM vigente del mercado del dólar (Tabla 7).

Tabla 7. Precios de venta del aguacate hass de acuerdo con el destino

Año	Precio de venta mercado nacional	Precio de venta exportación
2020	2598,320064	3.129
2021	2552,304216	3180
2022	2628,873342	3233
2023	2707,739543	3286
2024	2788,971729	3339
2025	2872,640881	3394
2026	2958,820107	3450
2027	3047,584711	3506
2028	3139,012252	3564
2029	3233,182619	3622
2030	3330,178098	3682

Fuente: Elaboración propia con datos del IPC y TRM del Ministerio de Hacienda y Crédito Público y ANH (2019).

3.3 Volatilidad o riesgo del proyecto

Para hallar la volatilidad o riesgo del proyecto, el cual es un factor esencial para la elaboración de los árboles binomiales, a través de los cuales se estructura la opción real, se siguió la metodología de Copeland y Antikarov (2003), citada por (Ramirez, 2013), la cual se halló con el valor actual de los flujos de caja futuros para el período 0 y período 1, a través de la tasa de descuento relacionada con el costo de capital (WACC) que, en este caso, corresponde a la línea de crédito Finagro para productores de aguacate, con una tasa del 12.5%, de la siguiente manera:

$$(7) VP_0 = \sum_{T=1}^{10} \frac{FCL_t}{(1+WACC)^t}$$

$$(8) VP_1 = \sum_{T=2}^{10} \frac{FCL_t}{(1+WACC)^{t-1}}$$

Donde,

VP_0 , es el valor presente de los flujos de caja futuros en el año cero

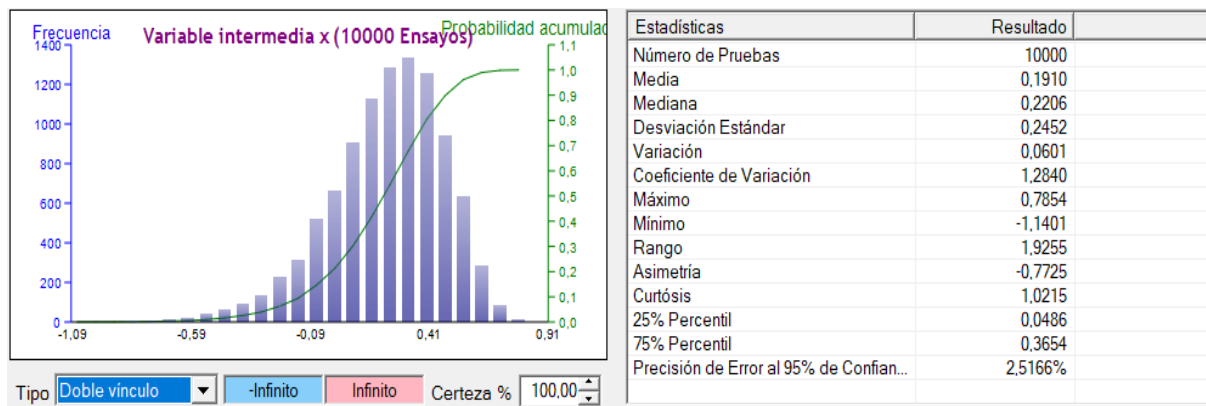
VP_1 , es el valor presente de los flujos de caja futuros en el año uno

FCL_t , es el valor del flujo de caja libre correspondiente al período t

WACC, es el costo de capital del proyecto

Con la ayuda del software Risk Simulator, se generaron ajustes de distribución de probabilidad a los factores que más influenciaron el flujo de caja del proyecto, que en este caso fueron los precios del aguacate nacional e internacional y, con estos parámetros, posteriormente se simularon diez mil escenarios, con el fin de obtener la desviación estándar que será usada en la construcción de los árboles binomiales como la volatilidad del proyecto, que en este caso fue del 24.52%, tal como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Volatilidad del flujo de caja



Fuente: Elaboración propia, 2019

4. Resultados

- **Valor del proyecto sin flexibilidad**

Inicialmente se valoró el proyecto bajo el criterio del VPN, el cual como se mencionó anteriormente, no tiene en cuenta la flexibilidad que ofrece el método de opciones reales de

valorar la reconversión de un sistema productivo a otro, una vez el cultivo está establecido. El resultado de esta valoración se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Valoración del proyecto a partir del VPN

Expresión	Descripción	Valor
$PVo = \sum FCt / (1+WACC)^t$	Valor actual de los flujos de caja futuros para un tramo de 10 años	\$ 83.337.950,04
I_0	Inversión inicial necesaria para la ejecución del proyecto, realizada en el año 0	\$ (25.096.682)
$VPN \text{ básico} = -I_0 + PVo$	Valor Presente Neto	\$ 58.241.268,37

Fuente: Elaboración propia, 2019

- **Valor del proyecto con flexibilidad**

Continuando con la metodología de opciones reales, posteriormente se procedió a construir el árbol binomial para el activo subyacente, que en este caso corresponde a los flujos de caja que arrojó el proyecto con los precios de aguacate hass para el mercado nacional e internacional,

proyectados a diez años; de esta manera, los parámetros de entrada para la construcción del árbol binomial fueron los siguientes (Tabla 9):

Tabla 9. Parámetros de entrada para el árbol del subyacente

Datos de entrada		
Concepto	Símbolo	Valor
Spot	S	\$ 25.096.682
Strike	K	\$ 45.062.429,48
Risk free	Rf	6,25%
Plazo (anual)		1
Volatilidad	Σ	24,52%
Pasos	N	10

Fuente: Elaboración propia, 2019

De esta manera se obtuvo el árbol binomial para el subyacente:

Figura 2. Árbol binomial del activo subyacente

ARBOL DEL SUBYACENTE									
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
\$ 45.062.429,48	\$ 54.909.765,12	\$ 66.909.004,71	\$ 81.530.396,29	\$ 99.346.949,61	\$ 121.056.892,24	\$ 147.511.032,95	\$ 179.746.104,82	\$ 219.025.394,59	\$ 266.888.250,65
	\$ 36.981.082,43	\$ 45.062.429,48	\$ 54.909.765,12	\$ 66.909.004,71	\$ 81.530.396,29	\$ 99.346.949,61	\$ 121.056.892,24	\$ 147.511.032,95	\$ 179.746.104,82
		\$ 30.349.017,44	\$ 36.981.082,43	\$ 45.062.429,48	\$ 54.909.765,12	\$ 66.909.004,71	\$ 81.530.396,29	\$ 99.346.949,61	\$ 121.056.892,24
			\$ 24.906.325,04	\$ 30.349.017,44	\$ 36.981.082,43	\$ 45.062.429,48	\$ 54.909.765,12	\$ 66.909.004,71	\$ 81.530.396,29
				\$ 20.439.707,09	\$ 24.906.325,04	\$ 30.349.017,44	\$ 36.981.082,43	\$ 45.062.429,48	\$ 54.909.765,12
					\$ 16.774.117,63	\$ 20.439.707,09	\$ 24.906.325,04	\$ 30.349.017,44	\$ 36.981.082,43
						\$ 13.765.902,86	\$ 16.774.117,63	\$ 20.439.707,09	\$ 24.906.325,04
							\$ 11.297.171,38	\$ 13.765.902,86	\$ 16.774.117,63
								\$ 9.271.174,03	\$ 11.297.171,38
									\$ 7.608.512,35

Fuente: Elaboración propia, 2019

Por último, se procedió a construir el árbol binomial de la opción con flexibilidad, esta vez de derecha a izquierda, a través de los parámetros presentados en la Tabla 10:

Tabla 10. Parámetros de entrada para el árbol de la opción real

Concepto	Símbolo	Valor
Tasa de crecimiento	μ	1,218526514
Tasa de decrecimiento	d	0,820663308
Probabilidad neutral	P	0,466507737
Complemento	1-P	0,533492263

Fuente: Elaboración propia, 2019

Resumiendo, se encontró el árbol de la opción americana, correspondiente a la opción de diferir la reconversión del proyecto (Figura 3).

Figura 3. Árbol de la opción de diferir la reconversión del proyecto

ARBOL DE LA CALL EUROPEA									
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
\$ 12.441.975,55	\$ 19.000.025,94	\$ 28.300.379,06	\$ 41.025.648,83	\$ 57.787.371,17	\$ 79.059.032,58	\$ 105.240.527,83	\$ 136.944.603,01	\$ 175.336.160,60	\$ 221.825.821,17
	\$ 6.707.344,59	\$ 10.867.411,86	\$ 17.172.875,98	\$ 26.368.504,39	\$ 39.186.549,16	\$ 56.164.848,43	\$ 77.517.171,01	\$ 103.373.434,51	\$ 134.683.675,34
		\$ 3.069.609,42	\$ 5.353.652,80	\$ 9.131.837,53	\$ 15.159.874,99	\$ 24.340.020,87	\$ 37.493.492,95	\$ 54.907.382,99	\$ 75.994.462,76
			\$ 1.072.347,26	\$ 2.049.851,55	\$ 3.860.671,83	\$ 7.132.375,11	\$ 12.838.079,93	\$ 22.266.066,05	\$ 36.467.966,81
				\$ 217.577,01	\$ 466.395,28	\$ 999.758,93	\$ 2.143.070,43	\$ 4.593.858,27	\$ 9.847.335,65
					\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
						\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
							\$ -	\$ -	\$ -
								\$ -	\$ -
									\$ -

Fuente: Elaboración propia, 2019

Finalmente, en la Tabla 11 se observan los cálculos del valor presente neto del proyecto, que incorporan la opción de posponer la inversión en el cultivo de aguacate hass con fines de exportación:

Tabla 11. Valor del proyecto incorporando flexibilidad

Expresión	Descripción	Valor
VPN básico = $-I_0 + PV_0$	Valor Presente Neto (proyecto sin flexibilidad)	- \$25.096.681,67+ \$ 70.159.111,14 = \$45.062.429
VPN Ampliado = = VPN básico + Opción de aplazar (diferir)	Valor Presente Neto Ampliado (proyecto con flexibilidad)	\$45.062.429+ \$12.441.975,55 = \$57.504.405,03
Opción de diferir = = VPN Ampliado - VPN básico $E_1 = \text{Máx} [VA_1 - A_1 ; 0]$	Opción de aplazar la puesta en marcha del proyecto, esperando que las condiciones de los precios de venta o ingresos sean mejores	\$57.504.405,03 - \$45.062.429 =\$12.441.975,55

Fuente: Elaboración propia, 2019

5. Conclusiones y recomendaciones

Dado que el costo de oportunidad, reflejado en el valor de la opción de diferir la inversión para reconvertir el cultivo de aguacate hass es de \$12.441.975,55, menor que el VPN básico del proyecto de \$45.062.429, se recomienda no diferir la ejecución del proyecto y enfocar el cultivo hacia el mercado internacional.

De acuerdo a los resultados, a mayor área sembrada en aguacate hass, mayores serán los costos de oportunidad de no alcanzar y mantener estándares de buenas prácticas agrícolas internacionales, como el de GlobalGAP, si se tiene en cuenta que según expertos, el área mínima rentable de aguacate hass en Colombia es de 2.5 hectáreas

Un valor agregado de alcanzar y mantener estándares como el de GlobalGAP, es el aumento en la productividad de los cultivos, reflejado en un mayor rendimiento por área; sin embargo, la reconversión del sistema productivo implica realizar cambios en las prácticas de manejo que conllevan a una mejora en la productividad. En el presente trabajo no se tuvo en cuenta estas proyecciones, con el propósito de trabajar con datos de productividad oficiales para Colombia.

Desde el punto de vista financiero, las perspectivas de crecimiento tanto del consumo per cápita del aguacate hass a nivel mundial, como del precio del dólar, constituyen un argumento atractivo para que los pequeños y medianos productores nacionales ejecuten las acciones e inversiones necesarias, para alcanzar y mantener estándares internacionales de buenas prácticas agrícolas.

De igual manera, al ser un cultivo de tardío rendimiento, que implica una mayor incertidumbre en su ejecución, con más de veinte años de vida útil, se debería proyectar la evaluación del aguacate hass a más largo plazo, donde es posible que los resultados de la reconversión sean aún mejores; sin embargo, dado que este es un cultivo relativamente nuevo en el país, en el que todavía no se cuenta con una fuente de datos de costos reales, se dificulta la proyección a un mayor horizonte de evaluación.

Referencias

- Allen, F., Bhattacharya, S., Rajan, R., & Schoar, A. (2008). The contributions of Stewart Myers to the theory and practice of corporate finance. *Journal of Applied Corporate Finance*, 20(4), 8-19., 20(4), 8-19.
- Arias, F., Velásquez, O., & Montoya, C. (2018). Dinámica del mercado mundial de aguacate. *Dinámica Mundial*, 55, 22-35.
- Cox, J. C., Ross, S. A., & Rubinstein, M. (1979). Option pricing: a simplified approach. *Journal of financial economics*, 7, 229-263.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE. (15 de Noviembre de 2019). *Sistema de información de precios SIPSA*. Recuperado el 19 de Noviembre de 2019, de Sistema de información de precios SIPSA: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/sistema-de-informacion-de-precios-sipsa>
- Dixit, A., & Pindyck, R. (1994). *Investment under Uncertainty*. Princeton, NJ, EEUU: Princeton University Press.
- Fernández, A. M., & Bustamante, V. M. (2009). Decisiones de inversión a través de opciones reales. *Estudios gerenciales*, 25(111), 107-126.
- Gonzales, E. M., & Vivares, C. A. (2019). Valoración de un proyecto agrícola aplicando la teoría de opciones reales. Caso de estudio: Cultivo de Aguacate Hass en Angostura - Antioquia. (*Tesis de Maestría*). Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- Hull, J. C. (2018). *Options, Futures and other Derivates* (10 ed.). New York: Pearson.
- Juárez, G. D., & Akaki, P. P. (2011). Evaluación de la conversión a café orgánico usando la metodología de opciones reales. *Contaduría y administración*, 58(1), 87-115.
- Mascareñas, J. (2005). La valoración de un proyecto de inversión biotecnológico como una opción real compuesta. *Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas*, 1-20. Obtenido de La valoración de un proyecto de inversión biotecnológico como una opción real compuesta.
- Mascareñas, J. (Julio de 2007). Opciones reales en la valoración de proyectos de inversión. *Monografías de Juan Mascareñas sobre Finanzas Corporativas*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
- Mincomercio. (12 de Septiembre de 2019). *Mincomercio*. Recuperado el 29 de Octubre de 2019, de Mincomercio: <http://www.mincit.gov.co/prensa/noticias/comercio/en-el-2019-exportaciones-de-aguacate-crecen-37-6>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR. (Noviembre de 2017). *Agronet*. Recuperado el 9 de Noviembre de 2019, de Reporte: Anuario Estadístico del Sector Agropecuario 2017 - EVA: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=105>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, MADR. (25 de Septiembre de 2018). *CADENA DE AGUACATE Indicadores e Instrumentos Septiembre 2018*. Obtenido de CADENA DE AGUACATE Indicadores e Instrumentos Septiembre 2018.: Disponible en:

https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/A1232-Bullets%20aguacate%20Septiembre_.pdf

- Ministerio de Hacienda y Crédito Público. (2019). *Marco Fiscal de Mediano Plazo 2019*. Minhacienda. Bogotá: Minhacienda.
- Montañez, G. A. (2011). *Formulación y evaluación de proyectos agropecuarios*. (E. Ediciones, Ed.) Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones. Obtenido de <http://www.digitaliapublishing.com.ezproxy.eafit.edu.co/a/29945>
- Montoya, R. A., Garcés, C. H., Giraldo, C. S., & Echeverri, E. A. (2014). Los fondos de capital privado como una propuesta innovadora para la financiación del sector agropecuario. Caso: Estructuración para el cultivo de aguacate hass. *Documentos de trabajo. Economía y finanzas*, 14(26), 23.
- Myers, S. C. (1984). Finance theory and financial strategy. *Interfaces*, 14(01), 126-137.
- Oya, C., Schaefer, F., & Skalidou, D. (2018). The effectiveness of agricultural certification in developing countries. *World Development*, 112, 282–312.
- Ramirez, C. M. (2013). La incertidumbre y la irreversibilidad en los proyectos de inversión relacionados con cultivos de rendimiento tardío. El caso del café colombiano, valoración con opciones reales. (*Tesis doctoral*). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Ruiz J., L. M. (10 de Junio de 2014). *La Republica*. Recuperado el 25 de Octubre de 2019, de La Republica: <https://www.larepublica.co/archivo/cultivar-aguacate-hass-requiere-de-una-inversion-inicial-de-12-millones-2132181>
- Sandoval, K. V., & Espinosa, A. M. (2016). Evaluación de un proyecto de inversión usando opciones reales para diferenciar el aguacate. *Estudios sociales*, 24(47), 232-248.
- Serrano, A., & Brooks, A. (2019). Who is left behind in global food systems? Local farmers failed by Colombia's avocado boom. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 2(2), 348-367.
- Seyoum, E., & Chan, C. (2012). A real-options analysis of wine grape farming in north west Victoria. *Australian Agricultural and Resource Economics Society (AARES)*.
- Trigeorgis, L. (1991). A Log-Transformed Binomial Numerical Analysis Method for Valuing Complex Multi-Option Investments. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 309-326.
- Wollni, S. H. (2014). Is GlobalGAP Certification of Small-Scale Farmers. *Journal of Development Studies*, 50(5), 731-747.