

**Valoración de un proyecto agrícola aplicando la teoría de opciones reales.  
Caso de estudio: Cultivo de Aguacate Hass en Angostura - Antioquia**

Eliana María González Giraldo\*  
Carlos Andrés Vivares Mira\*\*

**Resumen**

Los métodos de valoración tradicional tienen un carácter estático debido a que suponen que las condiciones básicas de un proyecto no pueden ser modificadas y, por lo tanto, presentan grandes limitaciones para analizar proyectos del sector agrícola que están sujetos a condiciones de riesgo, incertidumbre y flexibilidad. En este sentido, el análisis con opciones reales (OR) se presenta como una alternativa para la toma de decisiones en dicho sector.

En el presente trabajo se realiza una revisión general de la teoría de OR: Tipos, conceptos y modelos de valoración. Adicionalmente, se expone un estudio de caso en el que se evaluó una opción de expansión para un cultivo de aguacate Hass en el municipio de Angostura, departamento de Antioquia. Los resultados mostraron que la opción incrementó el valor del proyecto en un 63% en contraste con la técnica del Valor Presente Neto (VPN).

**Palabras clave:** Opciones reales, valoración de proyectos de inversión, sector agrícola, aguacate hass.

---

\* Especialista en Finanzas de la Universidad EAFIT. Ingeniera de Petróleos de la Universidad Nacional de Colombia. Correo electrónico: emgonzaleg@eafit.edu.co

\*\* Especialista en Finanzas de la Universidad EAFIT. Ingeniero de Sistemas e Informática de la Universidad Nacional de Colombia. Correo electrónico: cavivaresm@eafit.edu.co

## **Abstract**

Traditional valuation methods have a static character because they assume that the basic conditions of a project cannot be changed. For this reason, they present great limitations for analyzing projects in the agricultural sector that are subject to conditions of risk, uncertainty and flexibility. In this sense, the analysis with real options (RO) is presented as an alternative for decision making in this sector.

In the present work, a general review is carried out of the theory of RO: Types, concepts and valuation models. Additionally, a case study is shown where an expansion option is evaluated for a Hass Avocado crop in the municipality of Angostura, department of Antioquia. The results showed that the option increased the value of the project by 63% in contrast to the Net Present Value (NPV) technique.

**Key Words:** Real options, investment projects valuation, agricultural sector, hass avocado.

## **1. Introducción**

Los métodos tradicionales para valorar proyectos, tales como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el periodo de recuperación (Payback Time), son considerados modelos estáticos, debido a que en ellos, como lo exponen Isaza y Botero (2014), se asume que los flujos de caja se mantienen sin variación durante el periodo de ejecución de los mismos. Dichos métodos pierden precisión para evaluar proyectos en los cuales es posible tomar decisiones que modifiquen su curso una vez iniciados. Vecino, Rojas y Muñoz (2015) sugieren que se deben utilizar métodos más flexibles y adecuados para la evaluación de inversiones con el fin de que se tomen decisiones acertadas en cuanto a la destinación de los recursos correspondientes a cada una de las posibilidades de inversión.

Generalmente los proyectos de inversión del sector agrícola presentan condiciones de alto riesgo, incertidumbre y flexibilidad y, en este caso, la teoría de

las OR se ajusta de mejor manera puesto que tiene en cuenta dichas variables a la hora de valorar el proyecto. Este trabajo busca valorar una opción de expansión a través de un caso de estudio —un cultivo de aguacate Hass en una región del departamento de Antioquia— y su impacto sobre el valor del proyecto, buscando dar respuesta a las preguntas ¿cuánto valdría el proyecto agrícola si se tuviera en cuenta el valor de una opción de expansión una vez haya iniciado el cultivo? y ¿vale la pena considerar las OR para valorar proyectos agrícolas, o es recomendable seguir utilizando los modelos tradicionales?

## 2. Marco Conceptual

**2.1. Métodos tradicionales de valoración.** El análisis mediante Flujo de Caja Descontado (FCD) subyace en la idea de que un activo tendrá valor para un inversionista en la medida en la que este pueda generar flujos de caja en el futuro. De acuerdo con lo expuesto por Koller, Goedhart & Wessels (2010), el modelo de FCD mide el valor de un activo sumando los flujos de caja esperados, después de ajustar cada uno por el plazo en que se generará y el riesgo, incorporando así dentro de la metodología el concepto de valor de dinero en el tiempo.

Según Titman y Martin (2009), el FCD consta de tres pasos: El primer paso consiste en proyectar el flujo de caja (tanto el monto como el momento del tiempo en que se producirán); el segundo paso es estimar la tasa de descuento (WACC) adecuada al riesgo y el tercer paso consiste en descontar los flujos de caja al presente, utilizando el WACC para estimar el valor del proyecto en su conjunto. Empleando el FCD es posible definir criterios para la toma de decisiones de inversión, tales como VPN, TIR y Payback Time.

- **VPN:** Como lo plantean Berk y DeMarzo (2008) representa el valor del proyecto, en términos de efectivo, al día de hoy. En otras palabras, es la diferencia, al inicio del proyecto (fecha actual), entre el valor presente de los flujos de caja futuros generados por el proyecto y las inversiones realizadas. De acuerdo con la regla de decisión del VPN, al tomar una decisión de inversión, hay que aceptar la alternativa con el VPN más grande y elegir esta alternativa es equivalente a recibir

su VPN al día de hoy. Lo anterior implica que se deben aceptar aquellos proyectos que tengan un VPN positivo y rechazar los que tengan un VPN negativo.

- **TIR:** De acuerdo con Nardelli & Macedo (2011) es la tasa que hace que el VPN de los flujos de caja sea igual a cero. Esta tasa debe compararse con el costo de oportunidad o la tasa mínima requerida del inversionista (TMR). Cuando la TIR es mayor que la TMR, el proyecto debe realizarse.

- **Payback Time:** Se basa en el concepto de que una oportunidad que paga su inversión inicial rápido es una buena idea. Como sugieren Berk y DeMarzo (2008), para aplicar esta regla primero se calcula la cantidad de tiempo que toma recuperar la inversión inicial, llamado periodo de recuperación. Si este es menor que una extensión predeterminada de tiempo —por lo general algunos años— el proyecto se acepta; mientras menor sea el período de recuperación, mejor es el proyecto.

Por último, Miller & Park (2002) exponen que estos modelos son considerados estáticos porque suponen que las condiciones básicas del proyecto no pueden ser modificadas. Lo anterior representa su principal limitación pues no permiten capturar la incertidumbre, el riesgo y la flexibilidad que tienen los inversionistas y administradores para cambiar el curso de un proyecto durante su ejecución.

**2.2. Teoría de opciones reales.** Miller & Park (2002) indican que el término de opciones reales (OR) fue introducido en 1977 por Stewart Myers para hacer referencia a la aplicación de la teoría de opciones en la valoración de bienes no financieros, cuyo valor no depende exclusivamente del valor presente de las inversiones actuales sino también del valor presente de las OR futuras. En contraste con los métodos tradicionales, las OR se centran en la valoración de las posibles modificaciones que pueden realizarse a un proyecto bajo escenarios de incertidumbre.

Las bases teóricas sobre las cuales se desarrollan las OR parten de las opciones financieras. De acuerdo con Black & Scholes (1973) una opción es un instrumento que da al tenedor el derecho, más no la obligación, de comprar o vender

un activo, dentro de un periodo específico de tiempo. Por ser un derecho, este tipo de activo no tendrá valores negativos, independientemente de su activo subyacente. Isaza y Botero (2014) muestran que, de forma análoga, una OR podría ser conceptualizada como el derecho, más no la obligación, de modificar un proyecto de inversión como respuesta a la evolución de la incertidumbre de sus variables subyacentes.

Conforme a lo planteado por Clemen & Reilly (2012) y Támara y Aristizábal (2012) existen varios tipos de OR:

- Opción de alterar la escala de la operación (expandir, contraer y parar/reiniciar o cerrar temporalmente las operaciones).
  - Opción de prolongar/extender las operaciones.
  - Opción de abandonar o cerrar definitivamente las operaciones.
  - Opción de esperar, cuando se tienen expectativas de que algunas condiciones de mercado cambien en el futuro.
- Opción de vender una fracción.

De acuerdo a lo planteado por Calle y Tamayo (2009) los modelos de valoración de opciones se basan en la consideración de las siguientes variables: precio del activo subyacente, precio de ejercicio, tiempo hasta el vencimiento, tipo de interés y volatilidad. En la tabla 1 se muestra un comparativo de las variables asociadas a las opciones financieras y las OR.

Tabla 1

*Comparativo entre las variables asociadas a OR y opciones financieras*

<b>Opción Real</b>	<b>Variable</b>	<b>Opción Financiera</b>
Valor de los activos operativos (Valores esperados de los flujos de caja)	S	Precio del activo subyacente
Costo de la inversión	X	Precio de ejercicio
Plazo hasta que la oportunidad desaparece	t	Tiempo hasta el vencimiento de la opción
Riesgo del activo operativo subyacente: Volatilidad de los flujos de caja	$\sigma^2$	Varianza de los rendimientos del activo financiero
Valor temporal del dinero	r	Tasa de interés libre de riesgo

Fuente: Mascareñas (1999)

En línea con lo anterior, es fundamental identificar la OR dentro de un proyecto y su equivalencia con las opciones financieras. Támara y Aristizábal (2012) proponen la siguiente similitud entre estas:

Tabla 2

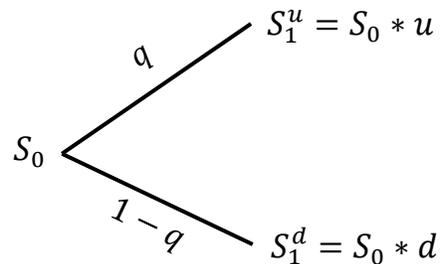
*Equivalencia entre OR y opciones financieras*

Tipos de opciones reales	Opción de Venta	Opción de Compra
Esperar		X
Expandir (ampliar)		X
Prolongar (extender)		X
Abandonar	X	
Reducir	X	
Vender una fracción	X	

Fuente: Támara y Aristizábal (2012)

Vedovoto y Prior (2015) afirman que los dos modelos de valoración de opciones más empleados son el modelo binomial y el modelo de Black & Sholes.

- Modelo binomial:** Fue propuesto por Cox, Ross & Rubinstein (1979). Es un modelo discreto que considera que la evolución del precio del activo subyacente varía siguiendo un proceso binomial multiplicativo; es decir que, con el paso de cada intervalo, el precio del activo sólo puede subir o bajar, con probabilidades asociadas  $q$  y  $(1 - q)$  respectivamente.



$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}, \quad d = \frac{1}{u}, \quad q = \frac{a - d}{u - d}, \quad a = e^{r\Delta t}$$

Donde,

$S_0$ : Precio del activo subyacente en el momento actual

$S_1^u$ : Precio del activo subyacente en el momento 1 (al alza)

$S_1^d$ : Precio del activo subyacente en el momento 1 (a la baja)

$q$ : Probabilidad neutral al riesgo

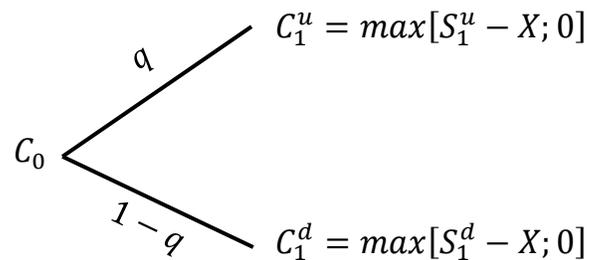
$u$ : Factor al alza del precio del subyacente en un período

$d$ : Factor a la baja del precio del subyacente en un período

$\sigma$ : Volatilidad

$r$ : Tasa libre de riesgo

Adicionalmente, para determinar el valor de una opción de compra sobre dicho activo, se emplea la siguiente expresión:



$$C_0 = \frac{1}{1 + r} [q C_1^u + (1 - q) C_1^d]$$

Donde,

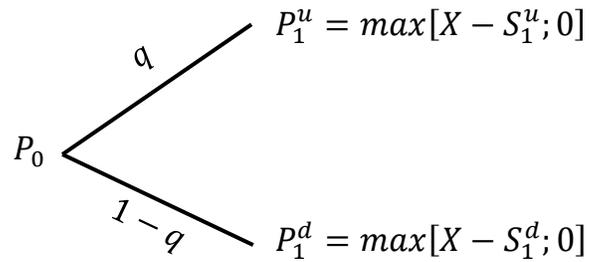
$C_0$ : Valor de la opción de compra en el momento actual

$C_1^u$ : Valor de la opción en el momento 1 si el precio del activo sube

$C_1^d$ : Valor de la opción en el momento 1 si el precio del activo baja

$X$ : Precio de ejercicio de la opción

Finalmente, el valor de una opción de venta sobre dicho activo se determina como sigue:



$$P_0 = \frac{1}{1+r} [q P_1^u + (1-q)P_1^d]$$

Donde,

$P_0$ : Valor de la opción de venta en el momento actual

$P_1^u$ : Valor de la opción en el momento 1 si el precio del activo sube

$P_1^d$ : Valor de la opción en el momento 1 si el precio del activo baja

$X$ : Precio de ejercicio de la opción

De acuerdo a lo expuesto por Calle y Tamayo (2009), cuando el horizonte de planificación se generaliza a  $n$  períodos, la valoración se realiza calculando los valores de la misma al final de los  $n$  períodos y por un procedimiento recursivo (retrocediendo en el tiempo) ir calculando, mediante las fórmulas anteriores, su valor en cada nodo del árbol.

- **Modelo Black & Scholes:** De acuerdo al modelo desarrollado por Black & Scholes (1973) el valor de una opción de compra se define como:

$$C = S \cdot N(d_1) - X \cdot e^{-rt} \cdot N(d_2)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}}, \quad d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t}$$

Donde,

$C$ : Valor de la opción de compra

$S$ : Precio del activo subyacente

$X$ : Precio de ejercicio de la opción

$r$ : Tasa de interés en tiempo continuo

$t$ : Tiempo hasta el vencimiento de la opción

$\sigma$ : Volatilidad del precio del subyacente

$N(d_i)$ : Valores de la función de distribución normal estandarizada para  $i$

Y, el precio de la opción de venta se determina como se muestra a continuación:

$$P = X \cdot e^{-rt} \cdot N(-d_2) - S \cdot N(-d_1)$$

Donde,

$P$ : Valor de la opción de venta y los valores de  $d_1$  y  $d_2$  se describieron anteriormente.

### 3. Estado del arte

En los últimos años las OR han sido ampliamente aceptadas para analizar proyectos donde existen condiciones de alta volatilidad y riesgo, como es el caso del sector agrícola. Tzouramani & Mattas (2004) estudiaron el resultado de incorporar el enfoque de las OR para evaluar oportunidades de inversión y demostraron su aplicación en un proyecto de construcción de invernaderos. Los autores concluyeron que este enfoque puede ser muy útil para evaluar proyectos con incertidumbre e irreversibilidad y puede proporcionar una nueva forma de examinar las decisiones de inversión agrícola.

Por su parte, Nardelli & Macedo (2011) emplearon la teoría de OR para evaluar la viabilidad económica de un proyecto de procesamiento agroindustrial de frutas, estudiando específicamente la opción de aplazamiento de las inversiones.

De acuerdo con el estudio, el valor de la opción está directamente relacionado con el nivel de incertidumbre cuando existe la flexibilidad de aplazamiento, debido a que esta es la que aporta valor a las posibilidades de beneficiarse de movimientos favorables y evitar pérdidas en escenarios desfavorables. Para desarrollar el análisis, se determinó la volatilidad de los flujos del proyecto como una aproximación a la volatilidad de los precios del activo subyacente (fruta) y se empleó como insumo para el modelo binomial. Los resultados mostraron que la incorporación de OR incrementó el valor del proyecto —para un aplazamiento de cuatro años— en 207%.

Delgado y Pérez (2011) analizaron la opción de convertir un cultivo de café tradicional a café orgánico que, además del beneficio ecológico, presentaba mayor rentabilidad para los productores, tal como arrojó su investigación. En cada uno de los tres años que duró el proceso, analizaron la opción de abandono del cultivo, empleando el método binomial. Los autores concluyeron que la gran diferencia de las OR con el método del VPN es que las primeras permiten la cuantificación de un tipo de incertidumbre relativa a la decisión de abandono del productor de café.

Más adelante, Vedovoto y Prior (2015) evaluaron un proyecto de I+D para mejora genética de semillas utilizando el método tradicional del VPN, así como el uso de OR. Para el segundo, se realizó la valoración empleando el método de árbol binomial donde la volatilidad usada para este cálculo se determinó a partir del precio del activo subyacente. Finalmente, se halló que el valor obtenido empleando el método de OR fue cerca de cuatro veces superior al valor estimado por medio del VPN.

Regan *et al.* (2015) mencionan que el análisis de OR se ha propuesto como un mejor método de valoración bajo incertidumbre y donde existe la oportunidad de demorar las decisiones de inversión, en espera de más información. Particularmente, evaluaron estas condiciones relacionadas con el uso de la tierra y las decisiones de manejo de la misma.

Sanderson, Hertzler, Capon & Hayman (2016) realizaron un análisis de los problemas de decisión que afectaban la producción de trigo bajo el cambio climático en el sur de Australia, describiendo las rutas de transición que los agricultores podían seguir a medida que sus industrias se transformaban en respuesta al cambio

climático. Este enfoque les permitió comprender el momento ideal para tomar las decisiones de adaptación y cambios de un régimen de producción a otro.

Gómez, Cerecedo y Barajas (2018) investigaron sobre las ventajas que ofrecen las OR en la toma de decisiones que enfrenta el sector agrícola, específicamente en el área de producción de tomate verde de primera en México. Para el desarrollo de este estudio se realizó un análisis y pronóstico de los precios del tomate, posteriormente se estimó la volatilidad del proyecto, se evaluó la inversión de la siembra a través del VPN y, finalmente, se calculó el valor de la opción de esperar empleando el método de árboles binomiales. Se encontró que la metodología de las OR agregó valor al proyecto y que la volatilidad de este tiene un impacto relevante sobre el valor de las opciones. Adicionalmente, los resultados sugirieron que los agricultores debían posponer su periodo de cosecha.

#### **4. Aplicación y Resultados**

Para el caso de estudio de un cultivo de aguacate Hass en el municipio de Angostura, departamento de Antioquia, se proyectó una duración de 20 años y se estudió la opción de realizar una expansión entre los periodos 10 y 15, con el fin de garantizar que si esta se ejecutaba en el último periodo de evaluación (año 15) se asegurara el tiempo de madurez de la fruta (5 años) antes de finalizar el cultivo inicial. Para el desarrollo del proyecto se contó con un terreno de dos hectáreas y se analizó el escenario de sembrar una hectárea inicialmente y la posibilidad de expandirse a la hectárea adicional en el futuro.

El estudio implicó inicialmente el cálculo del VPN del proyecto; para este fin se definió el valor de la inversión inicial en \$22.500.000 y se empleó una tasa de descuento del 12% EA. Adicionalmente, se estimaron los costos operativos y la producción por hectárea cultivada para cada periodo. Cabe mencionar que el aguacate producido tiene fines de exportación y la fruta que no sea apta para este propósito será comercializada en el mercado nacional. Se estima que el 80% de la producción podrá ser vendida en el exterior, por lo que el precio del aguacate se

determinó empleando un promedio ponderado, calculado a partir del precio de exportación que es de \$3.250/kg y del precio interno que es de \$1.000/kg.

Con estos parámetros, el VPN estimado fue de \$53.458.946 y la TIR de 30.79%. Posteriormente, se generaron distribuciones de probabilidad para cada uno de estos indicadores mediante Risk Simulator incorporando incertidumbre a algunas variables de entrada (precio de exportación, precio interno e incremento del precio). En las Figuras 1 y 2 se presentan los resultados de la simulación y en ellos se muestra que el valor medio del VPN y la TIR fueron de \$53.479.514 y 30.77%, respectivamente.

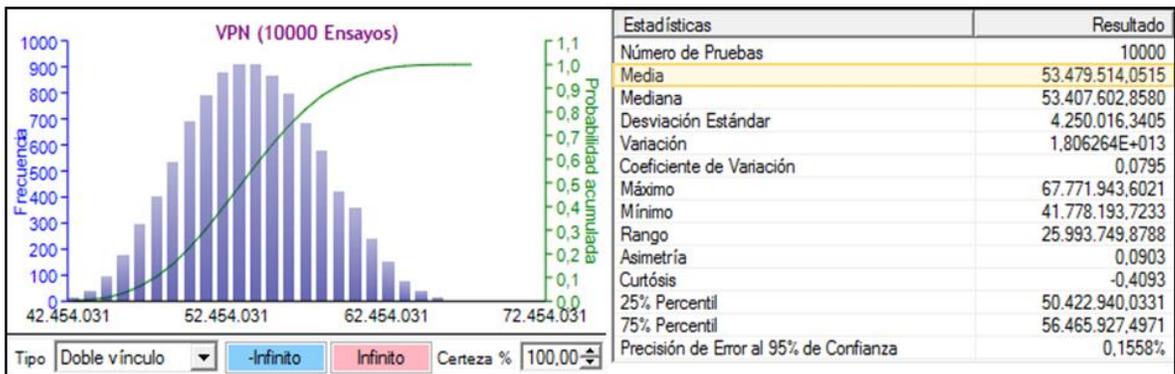


Figura 1. Distribución de probabilidad y estadísticas para el VPN. Fuente: Elaboración propia.

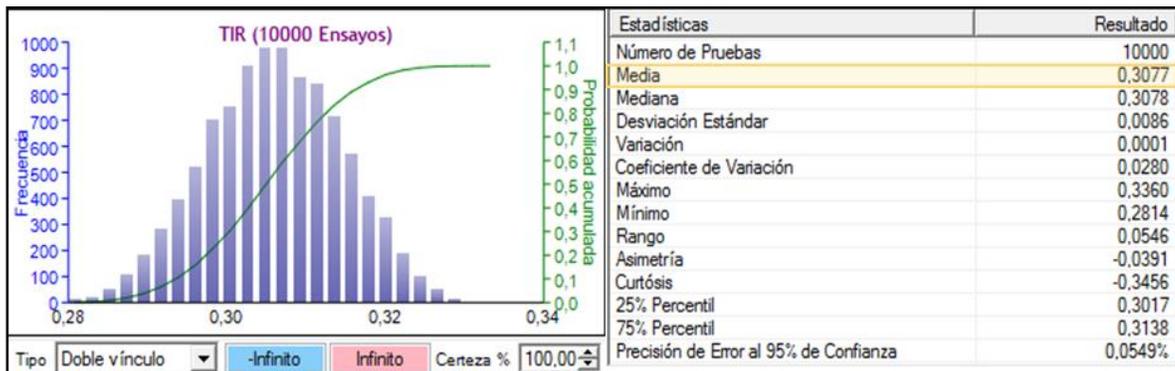


Figura 2. Distribución de probabilidad y estadísticas para la TIR. Fuente: Elaboración propia.

Después de determinar estos indicadores, se procedió a estimar el valor de la opción y, para ello, fue necesario calcular la volatilidad empleando los flujos de caja del proyecto y utilizando la siguiente ecuación:

$$\ln\left(\frac{VP_1}{VP_0}\right) = \ln\left(\frac{VP_1(FC_1) + VP_2(FC_2) + \dots + VP_t(FC_t)}{-Inversión + VP_1(FC_1) + VP_2(FC_2) + \dots + VP_t(FC_t)}\right)$$

Además, se realizaron 10.000 simulaciones y se obtuvo un valor de volatilidad de 6,98%. En la Figura 3 se muestra la distribución de probabilidad obtenida.



Figura 3. Volatilidad de los flujos de caja. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se calcularon los factores al alza y a la baja definidos en el marco conceptual.

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} = 1,07, \quad d = \frac{1}{u} = 0,93$$

A continuación, usando la metodología de Copeland & Antikarov (2003) se construyó el árbol del subyacente con periodos de tiempo anuales. Este inició con el valor de VPN obtenido en la simulación y se elaboró multiplicando dicho valor por los factores al alza y a la baja, proceso que se repitió para cada etapa. El árbol se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3

*Árbol del subyacente (cifras en pesos)*

Árbol del subyacente					
0	1	2	3	4	5
					\$ 75,815,190
				\$ 70,703,754	
			\$ 65,936,929		\$ 65,936,929
		\$ 61,491,482		\$ 61,491,482	
	\$ 57,345,746		\$ 57,345,746		\$ 57,345,746
\$ 53,479,514		\$ 53,479,514		\$ 53,479,514	
	\$ 49,873,942		\$ 49,873,942		\$ 49,873,942
		\$ 46,511,457		\$ 46,511,457	
			\$ 43,375,669		\$ 43,375,669
				\$ 40,451,295	
					\$ 37,724,082

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar el árbol de ejercicio fue necesario tener en cuenta que el costo de expansión sería igual a la inversión inicial (\$22.500.000) y que la opción se analizaría como una opción de compra, en la que el valor del subyacente estaba dado por el VPN y el precio de ejercicio correspondía al costo de la inversión inicial. En cada paso se determinó el valor con la siguiente expresión:

$$\text{Max}[\text{VPN} - 22.500.000; 0]$$

En la siguiente tabla se presenta el árbol del ejercicio obtenido.

Tabla 4

Árbol del ejercicio (cifras en pesos)

Árbol del ejercicio					
0	1	2	3	4	5
					\$ 53,315,190
				\$ 48,203,754	
			\$ 43,436,929		\$ 43,436,929
		\$ 38,991,482		\$ 38,991,482	
	\$ 34,845,746		\$ 34,845,746		\$ 34,845,746
\$ 30,979,514		\$ 30,979,514		\$ 30,979,514	
	\$ 27,373,942		\$ 27,373,942		\$ 27,373,942
		\$ 24,011,457		\$ 24,011,457	
			\$ 20,875,669		\$ 20,875,669
				\$ 17,951,295	
					\$ 15,224,082

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se procedió a realizar el árbol de la opción “viva” y, para ello, se tomó el valor en el último periodo, así:

$$\text{Max}[VPN - 22.500.000; 0]$$

Una vez determinados los valores del último periodo, se inició el proceso recursivo, retrocediendo de derecha a izquierda y aplicando la siguiente ecuación:

$$\text{Valor de la opción viva} = \frac{\text{Max}(\text{Alza opc. viva}; \text{Alza ejerc.}) * q + \text{Max}(\text{Baja opc. viv}; \text{Baja ejerc.}) * (1 - q)}{(1 + r)^{\Delta t}}$$

La probabilidad neutral al riesgo empleada en la ecuación anterior se calculó como se muestra a continuación:

$$q = \frac{a-d}{u-d} = 0,67 \text{ donde } a = e^{r\Delta t} = 1,03, r = 2,531\%$$

La tasa libre de riesgo se determinó con el rendimiento de los bonos del Tesoro de Estados Unidos con duración de 5 años (marzo 2019).

Tabla 5

*Árbol de la opción "viva" (cifras en pesos)*

Árbol de la opción "viva"					
0	1	2	3	4	5
				\$ 48,781,446	\$ 53,315,190
			\$ 44,575,606		\$ 43,436,929
		\$ 40,675,077		\$ 39,566,272	
	\$ 37,058,797		\$ 35,979,009		\$ 34,845,746
\$ 33,707,133		\$ 32,655,534		\$ 31,551,780	
	\$ 29,577,573		\$ 28,502,496		\$ 27,373,942
		\$ 25,680,889		\$ 24,581,527	
			\$ 22,000,128		\$ 20,875,669
				\$ 18,519,457	
					\$ 15,224,082

Fuente: Elaboración propia.

Con los valores obtenidos en los árboles del ejercicio y de la opción "viva", se procedió a determinar el valor de la opción en cada escenario, a través de la siguiente ecuación:

$$\text{Max}[\text{Valor de la opción viva}; \text{Valor del ejercicio}]$$

Posteriormente, se construyó el árbol para la opción y, de acuerdo con los resultados, el valor de esta es de \$33.707.133. Solo en los escenarios del año 5 es prudente ejercerla debido a que en los demás periodos el valor de la opción "viva" es superior al precio de ejercicio.

Tabla 6

Árbol de la opción (cifras en pesos)

Árbol de la opción					
0	1	2	3	4	5
					\$ 53,315,190
				\$ 48,781,446	
			\$ 44,575,606		\$ 43,436,929
		\$ 40,675,077		\$ 39,566,272	
	\$ 37,058,797		\$ 35,979,009		\$ 34,845,746
\$ 33,707,133		\$ 32,655,534		\$ 31,551,780	
	\$ 29,577,573		\$ 28,502,496		\$ 27,373,942
		\$ 25,680,889		\$ 24,581,527	
			\$ 22,000,128		\$ 20,875,669
				\$ 18,519,457	
					\$ 15,224,082

Fuente: Elaboración propia.

Después, se elaboró una distribución de probabilidad para el valor de la opción, tomando como variables con incertidumbre la volatilidad y la tasa libre de riesgo. El valor medio obtenido en este caso fue de \$33.689.954.

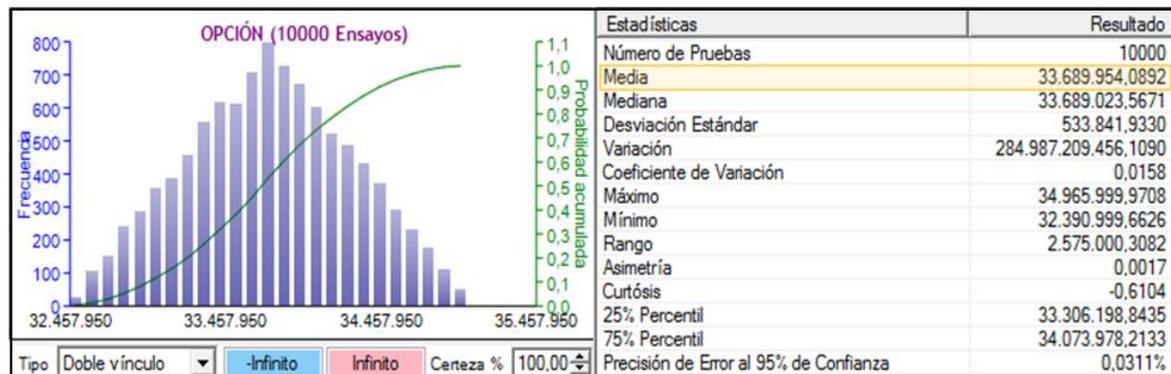


Figura 4. Distribución de probabilidad y estadísticas para el valor de la opción.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, fue posible determinar el valor del proyecto como una sumatoria del VPN y el valor de la opción, como se muestra a continuación:

Valor total del proyecto = VPN + Valor de la opción

Valor total del proyecto = \$53.479.514 + \$33.689.954 = \$87.169.468

Si bien el VPN y la TIR sugerían que el proyecto era económicamente viable, lo anterior evidencia que tener en cuenta el valor de la flexibilidad ocasiona que el proyecto tenga un valor mucho mayor. Particularmente, para este caso, su aumento fue alrededor del 63%.

## 5. Conclusiones

De acuerdo con los métodos de valoración tradicional (VPN y TIR) el proyecto analizado es viable económicamente. Sin embargo, las OR se presentaron como una metodología que permitió incorporar la flexibilidad en el estudio, dando como resultado un incremento en el valor en más del 60%. Lo anterior refleja la utilidad de las OR a la hora de valorar proyectos del sector agrícola en los que la incertidumbre y el riesgo juegan un papel determinante sobre el resultado.

Después de realizar la revisión de literatura, fue posible concluir que este tipo de metodología no ha sido aplicada a proyectos relacionados con la siembra de aguacate en Colombia. Adicionalmente, se encontraron pocos casos de aplicación asociados al sector agrícola, evidenciando que, a pesar de ser una herramienta de mucha utilidad para la valoración de proyectos de inversión con las características mencionadas anteriormente, no es ampliamente utilizada.

## 6. Referencias

- Berk, J. y DeMarzo, P. (2008). *Finanzas Corporativas*. México: Pearson Educación.
- Black, F. & Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *The Journal of Political Economy*, 81(3), 637-654.
- Calle Fernández, A. M. y Tamayo Bustamante, V. M. (2009). Decisiones de inversión a través de opciones reales. *Estudios Gerenciales*, 25(111), 107-126. doi: 10.1016/S0123-5923(09)70073-7
- Clemen, R. T. & Reilly, T. (2012). *Making Hard Decisions with Decision Tools*. Nashville: South-Western College Publishing.

- Copeland, T. & Antikarov, V. (2003). *Real Options: A Practitioner's Guide*. Reino Unido: Texere.
- Cox, J. C., Ross, S. A. & Rubinstein, M. (1979). Option Pricing: A Simplified Approach. *Journal of Financial Economics*, 7(3), 229-263. doi: 10.1016/0304-405X(79)90015-1
- Delgado, G. y Pérez, P. (2011). Evaluación de la conversión a café orgánico usando la metodología de opciones reales. *Contaduría y Administración*, 58(1), 87-115. doi: 10.1016/s0186-1042(13)71199-9
- Gómez Gallardo, W., Cerecedo Hernández, D. y Barajas Cortés, S. (2018). Opciones Reales, una aplicación en evaluación de proyectos en el sector agrícola en México. *Panorama Económico*, 13(25), 137-157. Recuperado de <http://panoramaeconomico.mx/ojs/index.php/PE/article/view/181/154>
- Isaza Cuervo, F. y Botero Botero, S. (2014). Aplicación de las opciones reales en la toma de decisiones en los mercados de electricidad. *Estudios Gerenciales*, 30(133), 397-407. doi: 10.1016/j.estger.2014.06.003
- Koller, T., Goedhart, M. & Wessels, D. (2010). *Corporate Valuation: Measuring and Managing Value of the Companies*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Mascareñas, J. (1999). *Monografías de Juan Mascareñas Sobre Finanzas Corporativas*. Recuperado de <http://www.juanmascarenas.eu/monograf.htm>
- Miller, L. T. & Park, C. S. (2002). Decision making under uncertainty - Real options to the rescue? *Engineering Economist*, 47(2), 105-150. doi: 10.1080/00137910208965029
- Nardelli, P. M. & Macedo, M. A. (2011). Análise de um projeto agroindustrial utilizando a Teoria de Opções Reais: a opção de adiamento. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 49(4), 941-966. doi: 10.1590/S0103-20032011000400006
- Regan, C. M., Bryan, B. A., Connor, J. D., Meyer, W. S., Ostendorf, B., Zhu, Z. & Bao, C. (2015). Real options analysis for land use management: Methods, application, and implications for policy. *Journal of Environmental Management*, 161, 144-152. doi: 10.1016/j.jenvman.2015.07.004
- Sanderson, T., Hertzler, G., Capon, T. & Hayman, P. (2016). A real options analysis

- of Australian wheat production under climate change. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 60(1), 79–96. doi: 10.1111/1467-8489.12104
- Támara, A. y Aristizábal, R. (2012). Las opciones reales como metodología alternativa en la evaluación de proyectos de inversión. *Ecos de Economía*, 16(35), 29-44. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/ecos/v16n35/v16n35a2.pdf>
- Titman, S. y Martin, J. D. (2009). *Valoración: El arte y la ciencia de las decisiones de inversión corporativa*. Madrid: Pearson Educación.
- Tzouramani, I. & Mattas, K. (2004). Employing real options methodology in agricultural investments: The case of greenhouse construction. *Applied Economics Letters*, 11(6), 355-359. doi: 10.1080/1350485042000189550
- Vecino, C. E., Rojas, S. C. y Muñoz, Y. (2015). Prácticas de evaluación financiera de inversiones en Colombia. *Estudios Gerenciales*, 31(134), 41-49. doi: 10.1016/j.estger.2014.08.002
- Vedovoto, G. L. y Prior, D. (2015). Opciones reales: Una propuesta para valorar proyectos de I+D en centros públicos de investigación agraria. *Contaduría y Administración*, 60(1), 145-179. doi: 10.1016/S0186-1042(15)72150-9