

Opciones Reales, una aplicación en evaluación de proyectos en el sector agrícola en México

Wulfrano Gómez Gallardo*

Daniel Cerecedo Hernández**

Sara Barajas Cortés***

(Recibido: enero, 2017/Aceptado: mayo, 2017)

Resumen

El objetivo de esta investigación es mostrar las ventajas que ofrecen las opciones reales en la toma de decisiones que enfrenta el sector agrícola, específicamente el área de producción de tomate verde de primera en México. Utilizando el histórico del precio de venta en la central de abasto de la Ciudad de México, obtenidos del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM), se muestra que el comportamiento del precio del tomate presenta un comportamiento estacional marcado en el periodo de análisis, mientras que la tendencia es suave pero estadísticamente significativa, por lo que el precio podría ser pronosticado con cierta certeza. Se encuentra que la metodología de las opciones reales agrega valor al proyecto, sin embargo, se obtuvieron distintos valores en la obtención de la volatilidad del proyecto. Los resultados también sugieren que los agricultores deben posponer su periodo de cosecha.

Palabras clave: opciones reales, volatilidad, inversión.

Clasificación JEL: G19, Q14.

* Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de México.
Correo electrónico. Wulfrano.gomez@gmail.com.

** Tecnológico de Monterrey, Escuela de Negocios, México. Correo electrónico. danielch@itesm.mx.

*** Tecnológico de Monterrey, Escuela de Negocios, México. Correo electrónico sbarajas@itesm.mx.

Real options, an application in projects evaluation in the agricultural sector in Mexico

Abstract

The objective of this research is to show the advantages offered by the royal options in decision making in the agricultural sector, specifically the area of production of green tomato in Mexico. Using the historical price of the sale in the Central of Supply of Mexico City, obtained from the Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM), prove that the price of the to-mate present a marked behavior in the period of analysis, while that the trend is soft but statistically significant, so the price could be with certainty estimated. It is found that the methodology of the real options adds value to the project, however, different values were obtained in obtaining the project volatility. The results also suggest that farmers should postpone the harvest period.

Keywords: real options, volatility, investment.

JEL classification: G19, Q14.

1. Introducción

La evaluación de proyectos de inversión consiste en el estudio y comparación de los costos y beneficios que genera una inversión para tomar la decisión de aceptar o rechazar su ejecución. El método tradicional más utilizado es el valor presente neto (VPN); sin embargo, para entornos, sectores o industrias con un alto grado de incertidumbre la aplicación de los métodos tradicionales queda limitada por falta de flexibilidad que permita incluir dinamismo al análisis. Derivado de lo anterior se ha promovió el estudio de la metodología de opciones reales (OR) para la evaluación de proyectos y toma de decisiones; con este nuevo enfoque de análisis se ha cambiado la forma de valuar proyectos de diferentes sectores como agricultura, minero, energético, compañías de telecomunicaciones, proyectos de biotecnología y, en general, las empresas y activos de nuevos sectores económicos (Suárez, 2004; Méndez y Lemothe, 2013).

El objetivo de la presente investigación es mostrar las ventajas que ofrecen las OR aplicadas al sector agrícola, específicamente al área de la producción de tomate verde de primera (de ahora en adelante sólo lo nombraremos como tomate), en la toma de decisiones que enfrentan los agricultores, como el de saber en qué momento sembrar y cuando cosechar su producto, ya que sus ganancias están en función del precio el cual se encuentra sujeto a las fuerzas de la oferta y demanda entre otros factores.

Entre los principales resultados que se esperan alcanzar, es verificar el comportamiento de los precios del tomate, para el caso del precio frecuente y poder obtener la desviación de dichos precios, estimar la volatilidad del proyecto, insumo indispensable para las OR, realizar la evaluación de la inversión de la siembra a través del valor presente neto (VPN), considerando la temporada de la cosecha y venta del producto, finalmente establecer el impacto que representa el uso de las OR y demostrar que la flexibilidad agrega valor a los proyectos.

Para tal efecto se presenta un análisis realizado con datos históricos diarios de precios frecuentes, para el periodo de enero de 2002 a mayo de 2014 correspondientes a productores de tomate verde de primera calidad, específicamente a los que ofertan sus cosechas en la Central de Abasto de Iztapalapa, Ciudad de México. Una de las razones por las que se escogió este producto, es porque tiene un peso relativamente alto en el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC), además de que su precio no está controlado como el de otros productos perteneciente al índice como el de la tortilla.¹

La estructura del documento se desarrolla de la siguiente forma: en el segundo apartado se presenta la revisión de la literatura respecto al tópico de estudio. La metodología utilizada se plantea a partir de la sección tres, la cual consta de cuatro partes fundamentales; la primera de éstas es tipificar el ciclo de producción del tomate verde, identificando las principales variables que podrían influir en su precio de venta; la segunda consiste en tomar datos históricos del precio de venta, del cual se puede extraer información relevante, como los cambios en nivel, tendencia y su estacionalidad; la tercera parte, con ayuda de los datos históricos, es realizar los pronósticos y calcular la desviación de dichos precios, para estimar la volatilidad del proyecto. Finalmente, con la información recabada, es posible utilizar la

¹ Documento metodológico INPC, Banco de México, enero 2011.

metodología de las OR y establecer la mejor estrategia para el productor. En este caso se valorará la opción de posponer la temporada de cosecha. Finalmente se plantean las conclusiones, así como algunas investigaciones futuras que podrían derivarse del trabajo.

2. Revisión de la literatura

La utilización de las OR surge de la necesidad de un modelo flexible que se adapte a los cambios que puedan surgir durante el desarrollo de un proyecto, ya que métodos como el VPN y la tasa interna de retorno (TIR) son estáticos y sólo ajustan la medición de riesgo a través de una tasa de interés de descuento; y por sí solos, no tienen el alcance de englobar un entorno económico dinámico; ya que ignoran la interacción de implicaciones cualitativas y cuantitativas con la irreversibilidad, incertidumbre y horizonte de tiempo del proyecto (Dixit, 1994). En cambio, la metodología de OR, permiten que la administración tome en consideración diferentes escenarios y se tomen decisiones de abandono, contracción, expansión o aplicación de acciones que modifiquen la estructura del proyecto, permitiendo reducir la sensibilidad al riesgo y se genera valor al esperar al momento óptimo de ejercer la inversión (Trigeorgis, 1997; Borison, 2005).

Hablando específicamente del sector agrícola, se observa un dinamismo que, aunado a la volatilidad e incertidumbre presente en los mercados agrícolas globales, incentiva la utilización de las OR para diferentes evaluaciones y análisis (Gregory *et al.* 2013; Tzouramani y Mattas, 2004). Algunos de los temas que se estudian son seguros agrarios, utilización de biotecnología para mejorar cosechas, modelos para el control de pesticidas, entre otros.

Por mencionar algunos, Aguado y Garrido (2008) estudian el mercado español de patatas y calcula el aseguramiento del ingreso de los productores mediante la metodología de las OR, complementando y ampliando su estudio en Aguado (2009), donde abarca el mercado de la unión europea e incluye un mayor número de productos como la fresa. En Toscano (2004) se presenta la evaluación de un proyecto en suelo agrícola mediante las OR, analizando diferentes tipos de siembra: madera, fresas y naranjas.

En BonWoo y Wright (2000) se presenta un estudio sobre el momento óptimo para aplicar recursos genéticos que incrementen la calidad de las cosechas, teniendo en cuenta factores como el tamaño, el valor y la estrategia

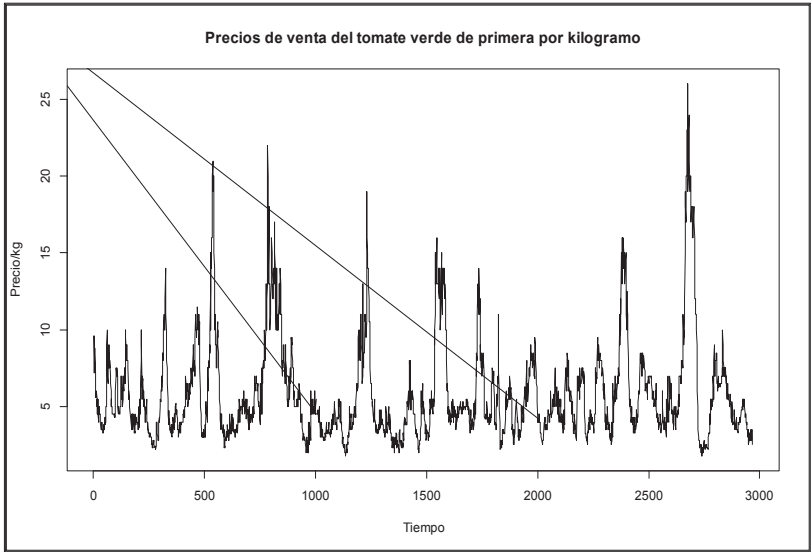
adecuada, se utiliza el método de OR ya que el monitoreo del tiempo es vital derivado de la rapidez de los cambios en la tecnología ambiental. Por su parte Milanesi (2012) calcula el momento óptimo de tala de árboles mediante el modelo de OR, que finalmente agrega valor al proyecto en comparación con el valor resultante mediante la utilización de VPN. Acton (2012) publicó una investigación sobre el análisis de políticas agrarias mediante la metodología de OR.

3. Descripción del proyecto

En la metodología de las OR, uno de los principales insumos para la obtención del valor de la opción es el cálculo del valor de la volatilidad del proyecto, en este sentido, cabe apuntar que la volatilidad del proyecto; es diferente a la volatilidad de alguno o varios de los insumos del mismo. Por ejemplo, en este estudio sobre la aplicación de las OR en la siembra y cosecha del tomate verde de primera, se obtuvieron los datos históricos del precio de venta en la Central de Abastos de Iztapalapa en la Ciudad de México, para un periodo de enero del 2002 hasta mayo del 2014, teniendo un total de 2 969 datos diarios cuyos precios son levantados de lunes a viernes, por lo que se considera un año de 250 días. Dicha información se graficó y se observó un cierto comportamiento estacional como se muestra en la gráfica 1, la cual fue elaborada con los datos que publica el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM).

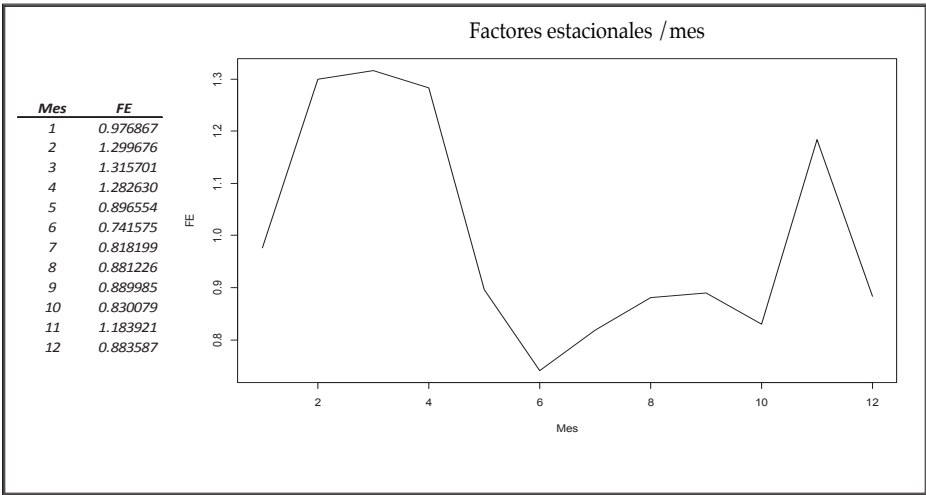
El precio del tomate, como el de algunos artículos de consumo, está sujeto a fuerzas de oferta y demanda, en donde los picos que se observan en la gráfica 1 se deben a que la oferta disminuyó, generalmente a causa del clima, ocasionando un incremento en el precio del producto. Este efecto de estacionalidad se aprecia también en la gráfica 2. Para el cálculo de los factores estacionales (FE) se promediaron los días de cada mes para después promediar los meses correspondientes en el periodo de análisis, con lo cual se obtuvieron los valores correspondientes a cada mes.

Gráfica 1
Precio histórico del tomate verde de primera de enero 2002 a mayo 2014



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 2
Factores estacionales para el precio del tomate verde de primera por mes



Fuente: elaboración propia.

Aunque los datos recopilados fueron diarios, la razón por la que se decidió agregarlos y analizarlos por mes, es que resultan ser más significativos para los productores y compradores, quienes están familiarizados con las temporadas en la que los productos se ofertan, cuando se habla en términos mensuales. De la tabla de la gráfica anterior se pueden realizar algunos cálculos de interés, como lo son las variaciones en los precios dependiendo del mes, los cuales se presenta a continuación en la tabla 1.

En la tabla 1 se aprecia que del mes 12 al 1 (diciembre a enero) se presenta un incremento del 9.33% en el precio, durante el mes 1 al 2 (enero a febrero) observamos otro incremento mayor del 32.28%, del mes 2 al 3 (febrero a marzo) se aprecia un pequeño incremento de apenas el 1.60%, en tanto del mes 3 al 4 (marzo a abril) se observa un decremento del 3.31%, del mes 4 al 5 (abril a mayo) se observa una caída del 38.61% en el precio, así como una caída del 15.50% del mes 5 al 6 (mayo a junio), nuevamente se observa un incremento del 7.66% del mes 6 al 7 (junio a julio), así como un incremento de 6.30% del mes 7 al 8 (julio a agosto), y de 0.88% del mes 8 al 9 (agosto a septiembre), en el mes 9 al 10 (septiembre a octubre) nuevamente se tiene un descenso de 5.99%, una recuperación del 35.38% se aprecia del mes 10 al 11 (octubre a noviembre) y finalmente una caída 30.03% del mes 11 al 12 (noviembre a diciembre).

Tabla 1
Porcentaje de cambio en los factores estacionales de un mes a otro

Porcentaje de cambio	
12 a 1	9.33%
1 a 2	32.28%
2 a 3	1.60%
3 a 4	-3.31%
4 a 5	-38.61%
5 a 6	-15.50%
6 a 7	7.66%
7 a 8	6.30%
8 a 9	0.88%
9 a 10	-5.99%
10 a 11	35.38%
11 a 12	-30.03%

Fuente: elaboración propia.

Estos FE promedios muestran el comportamiento global en el precio del tomate, por otra parte, dichos factores son empleados para el cálculo de los pronósticos, para este fin se empleó una regresión de series temporales de la familia de los suavizados exponenciales, específicamente el método de Holt-Winter (H-W) multiplicativo.²

El método multiplicativo H-W, tiene las siguientes ecuaciones recursivas:

$$l_t = \alpha \left(\frac{y_t}{Sn_{t-L}} \right) + (1 - \alpha)(l_{t-1} + b_{t-1}) \quad (1)$$

$$b_t = \gamma(l_t - l_{t-1}) + (1 - \gamma)b_{t-1} \quad (2)$$

$$Sn_t = \delta \left(\frac{y_t}{l_t} \right) + (1 - \delta)Sn_{t-L} \quad (3)$$

donde:

α = factor de suavizado nivel

γ = factor de suavizado de la tendencia

δ = factor de suavizado de la estacionalidad

l_T = nivel en el tiempo T

b_T = tendencia en el tiempo T

Sn_T = factor estacional en el tiempo T

y_T = valor real observado en el tiempo T

L = número de estaciones en un ciclo

En la metodología propuesta, los factores se van actualizando a medida que nueva información aparece, por lo que al cabo de un año se genera una nueva serie de FE que consideran los efectos que aportan los nuevos precios, la tabla 2 muestra la evolución de los FE mensuales en el horizonte de tiempo considerado.

² La razón por la que se optó por escoger el método multiplicativo sobre el aditivo, es que el primero abarca los casos del segundo y algunos más.

Tabla 2
Factores Estacionales promedio para los años 2002 a 2013

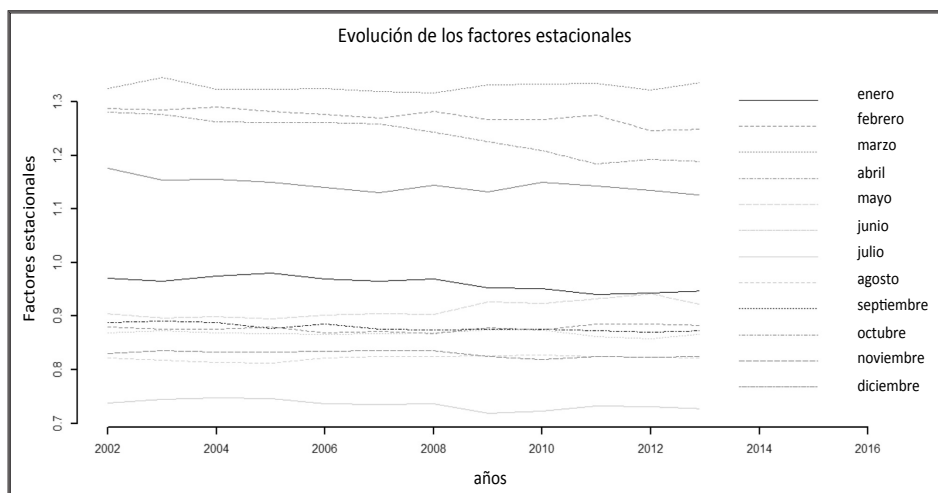
Mes	FE promedio	Años											
		2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	0.9769	0.9710	0.9655	0.9746	0.9800	0.9698	0.9695	0.9695	0.9530	0.9518	0.9399	0.9428	0.9478
2	1.2997	1.2875	1.2849	1.2899	1.2825	1.2763	1.2650	1.2818	1.2675	1.2668	1.2751	1.2459	1.2487
3	1.3157	1.3253	1.3448	1.3238	1.3228	1.3250	1.3194	1.3160	1.3322	1.3329	1.3349	1.3219	1.3368
4	1.2826	1.2803	1.2765	1.2621	1.2618	1.2613	1.2582	1.2439	1.2249	1.2092	1.1843	1.1925	1.1887
5	0.8966	0.9048	0.8958	0.8999	0.8951	0.9014	0.9049	0.9028	0.9273	0.9242	0.9326	0.9419	0.9203
6	0.7416	0.7385	0.7447	0.7480	0.7465	0.7372	0.7357	0.7366	0.7183	0.7236	0.7329	0.7316	0.7272
7	0.8182	0.8222	0.8184	0.8137	0.8121	0.8215	0.8252	0.8242	0.8264	0.8272	0.8252	0.8236	0.8226
8	0.8812	0.8692	0.8729	0.8692	0.8680	0.8665	0.8676	0.8687	0.8747	0.8745	0.8622	0.8579	0.8678
9	0.8900	0.8887	0.8911	0.8883	0.8771	0.8848	0.8764	0.8741	0.8760	0.8760	0.8732	0.8709	0.8733
10	0.8301	0.8309	0.8353	0.8331	0.8331	0.8343	0.8359	0.8362	0.8254	0.8200	0.8243	0.8232	0.8246
11	1.1839	1.1762	1.1545	1.1545	1.1495	1.1407	1.1309	1.1440	1.1323	1.1502	1.1425	1.1348	1.1248
12	0.8836	0.8793	0.8759	0.8759	0.8793	0.8685	0.8711	0.8669	0.8790	0.8747	0.8848	0.8855	0.8829

Fuente: elaboración propia.

En la gráfica 3 se observa la trayectoria para los FE por año, donde se aprecia que se mantiene prácticamente invariante.

El resultado anterior nos permite suponer que el componente estacional es constante y el análisis de las diferencias de la tabla 1 y la gráfica 3, hace notar que la discrepancia entre los factores por cada mes es significativa, sin embargo la gráfica 3 muestra que los FE a través del tiempo no tienen cambios relevantes, esto se puede contraponer con el hecho de que el factor de suavizado de la estacionalidad, el cual tiende a uno, indica lo contrario, esto se puede explicar, debido a que los factores estacionales que se muestran en la gráfica 3 están promediados, ya que los datos son diarios y los factores son mensuales, en otras palabras, el efecto por variación de los factores estacionales es más notable cuando se toman periodos de tiempo diario, que cuando se agregan mensualmente.

Gráfica 3
Cada línea representa el FE por cada mes en su evolución
a través de los años de estudio



Fuente: elaboración propia.

Con ayuda del método de suavizado exponencial de H-W se procede a calcular los pronósticos y los intervalos de confianza para cada uno de los siguientes diez días (la razón por la que escoge este horizonte de tiempo para realizar los pronósticos, es porque en ese periodo se puede realizar un

riego sin afectar la calidad del producto, después de dicha fecha, si se realiza la cosecha, producto tiende a disminuir su calidad). Para tal efecto se deben proponer los valores de alfa, gama y delta que se requieren para tener un mejor ajuste de los datos reales y disminuir el error en los pronósticos. El proceso es un método iterativo, en el que los mejores valores estimados fueron para alfa de 0.74, gama prácticamente de cero y una delta propuesta de uno, como se puntualizó en el párrafo anterior, con lo que se llega a las siguientes conclusiones: el cambio en el nivel de la serie es relativamente fuerte, mientras que el cambio en su tendencia es nulo, esto se observa, ya que, al calcular la pendiente de la serie desestacionalizada, el valor es muy pequeño 0.000197832, sin embargo, utilizando la prueba *t* de student a un nivel de significancia del 5%, resulta ser significativamente distinta de cero, con lo que se puede decir que, aunque la pendiente es mínima, no deja de ser estadísticamente significativa, esto se puede corroborar en la tabla 3.

Tabla 3
Valores para la pendiente y prueba de significancia estadística

	Coefficientes	Error típico	Estadístico <i>t</i>	Probabilidad
Intercepción	5.559368052	0.121746175	45.66359503	0
Variable X 1	0.000197832	7.10062E-05	2.786130261	0.005368046

Fuente: elaboración propia

El valor de la pendiente estimada puede ser un efecto debido a la inflación, que al anualizarla se obtuvo el siguiente dato de 5.07%, comparada con la inflación anualizada promedio para los años en estudio (2002-2013), calculada de información publicada por el Banco de México, en el que se encontró un valor de 4.72%, como se puede apreciar la diferencia no es demasiado grande, y, bien puede explicar el crecimiento sostenido por el precio del tomate, aseveración que es respaldada por el coeficiente de suavizado de la tendencia, el cual vale cero, lo que como ya se mencionó, indica que no hay variaciones significativas en la tendencia.

Finalmente, la delta es un valor relativamente grande, lo que implica que la variación en los factores estacionales es marcada, esto hecho sólo puede ser apreciado en los valores diarios.

Con toda la información recabada, se procede al cálculo de los pronósticos, para lo que se empleó el siguiente algoritmo propuesto para el H-W.

$$\hat{Y}_{T+\tau}(T) \pm Z_{\frac{ns}{2}} * Sr(\sqrt{C_{\tau}}(Sn_{T+\tau-L})) \quad (4)$$

$$si \tau = 1 \text{ entonces } C_1 = (l_T + b_T)^2 \quad (5)$$

si $2 \leq \tau \leq L$ entonces:

$$C_{\tau} = \sum_{j=1}^{\tau-1} \alpha^2 [1 + (\tau - j)\gamma]^2 (l_T + j * b_T)^2 + (l_T + \tau * b_T)^2 \quad (6)$$

donde:

τ = número periodo hacia delante de “T”

$\hat{Y}_{T+\tau}(T)$ = valor estimado de $Y_{T+\tau}$

$Z_{\frac{ns}{2}}$ = valor de la variable aleatoria de la distribución normal estándar.

ns = nivel de significancia deseado

Finalmente, el cálculo de Sr se lleva a cabo con la siguiente expresión, empleando los valores reales, los pronosticados y el tamaño de la muestra.

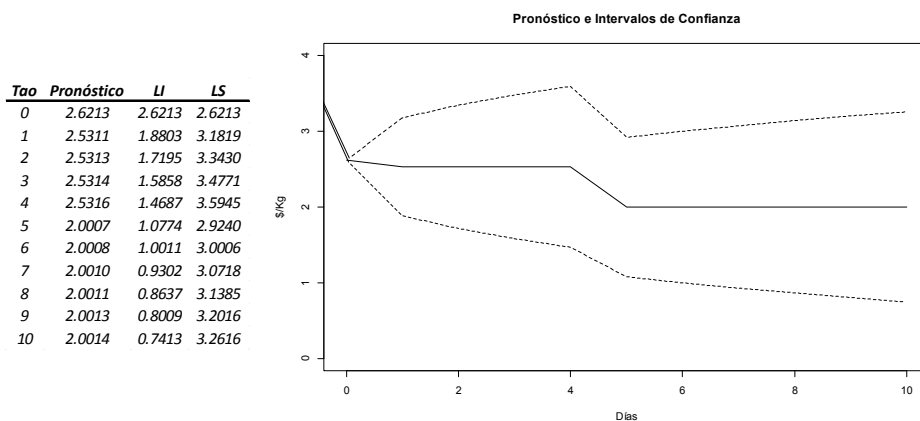
$$Sr = \sqrt{\sum_{t=1}^T \frac{\left[\frac{Y_t - \hat{Y}_t(t-1)}{\hat{Y}_t(t-1)} \right]^2}{T-3}} \quad (7)$$

Los pronósticos y sus intervalos de confianza correspondientes, calculados al 95% de confiabilidad, se presentan en la gráfica 4.

De la gráfica 4 se puede apreciar que los valores pronosticados y sus respectivos intervalos de confianza cambian en el transcurso de los días, note que en el día diez, el límite inferior y el superior del precio son de 0.7413 y 3.2616, respectivamente, con una probabilidad del 95% de que se encuentre el valor real pero desconocido y tan sólo un 5% que no aparezca en dicho intervalo. Otro punto a observar es que los intervalos son más angostos en los primeros días pronosticados, lo que al 95% de confiabilidad, da mayor certeza al productor, sin embargo, lo que se desea es saber cual es el

momento óptimo para cosechar, con lo que se pueda mejorar las ganancias. Lo anterior muestra la incertidumbre a la que se enfrentan los productores en general, esperar el momento óptimo y tener mejores ganancias o si se da el caso de que el precio del tomate caiga, perder dichos márgenes o inclusive no alcanzar a cubrir sus costos y gastos operativos. A continuación, se presenta el cálculo de la volatilidad, con lo que se alimentará al modelo de las OR y se realizarán las sugerencias pertinentes a los productores que enfrentan dicha incertidumbre.

Gráfica 4
Pronósticos e intervalos de confianza para el precio del tomate



Fuente: elaboración propia.

4. Cálculo de la volatilidad del proyecto

En opciones financieras, la volatilidad es un elemento importante para el cálculo del valor de la opción, esto mismo sucede con las opciones reales, sin embargo, existen ciertas diferencias que a continuación se presentan. La principal de ellas, es que la volatilidad no se puede adjudicar directamente al activo subyacente, esto es, en un análisis de opciones reales, por ejemplo, cuando se analiza la opción de cerrar una mina de oro, la volatilidad no se

obtiene directamente del comportamiento del precio del oro, aunque sea uno de los conductores de dicha volatilidad, la volatilidad que se busca es la volatilidad del proyecto. En el ejemplo anterior, parece lógico que la volatilidad del subyacente, en este caso del oro, pueda ser usada como el principal conductor para el cálculo de la volatilidad del proyecto, pero no deberá ser tomada como la volatilidad del proyecto.

En el presente estudio, se aprecia que es el precio del tomate el principal conductor de la volatilidad, de tal forma que se describe la serie básicamente a través de su media y varianza. Como el precio no puede ser negativo se empleó como distribución subyacente la distribución lognormal y empleando la simulación Montecarlo se establece una serie de trayectorias de los precios, con los que se obtuvieron un conjunto de flujos de efectivo que permitieron calcular el rendimiento del proyecto, del cual se estimó la volatilidad, en este caso fue de aproximadamente 0.51, como se puede apreciar el valor es relativamente alto, en un sentido práctico se puede esperar la opción de que el valor también será relativamente alto.

Existen otras alternativas para la estimación de la volatilidad del proyecto, una de éstas se basa en que el precio sigue un proceso estocástico con media y varianza finita, que se distribuye de forma normal. En este caso, se emplearon los intervalos de confianza para estimar la desviación estándar y los datos históricos de los rendimientos de los precios. Para la estimación de la desviación estándar se empleó la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^n r_i - \ln\left(\frac{V_{lower}^T}{V_o}\right)}{2\sqrt{T}}$$

$$\sigma = \frac{10(0.000197832) - \ln\left(\frac{0.741266}{2.62133873}\right)}{2\sqrt{10}}$$

Se obtiene un resultado de la desviación del precio de 0.2, esta información se incorpora en la siguiente expresión

$$V_t + \Delta_t = V_t e^{r\Delta t}$$

Con ella se generan las trayectorias y con la siguiente expresión se calcula la volatilidad del proyecto para ambos casos (datos históricos, intervalos de confianza)

$$z = \ln \left(\frac{PV_1 + FCF_1}{PV_0} \right)$$

$$PV_1 = \sum_{t=2}^7 \frac{FCF_t}{(1+WACC)^{t-1}}$$

en donde:

- Z: rendimiento de los flujos de efectivo
- PV_1 : valor presente en el momento $t = 1$
- FCF_1 : flujo de efectivo libre en el periodo 1
- PV_0 : valor presente en el momento cero
- T: periodo de tiempo
- WACC: tasa de descuento
- FCF_t : flujo de efectivo libre en el periodo t

A continuación, se presenta un resumen con la estimación de las volatilidades empleando las dos técnicas:

Datos históricos: 0.51

Intervalos de confianza: 0.35

Profundizando un poco más sobre la deducción de la volatilidad del rendimiento del proyecto es necesario realizar el cálculo del VP en el momento cero, VP_0 , y el VP en el momento uno, VP_1 , para obtener el logaritmo natural del cociente del segundo entre el primero $\ln(VP_1/VP_0)$, que es el rendimiento del proyecto por periodo, como se mencionó anteriormente. Empleando simulación Montecarlo se estima la volatilidad del proyecto, que es la desviación estándar obtenida de la simulación. Por lo tanto, lo primero es calcular el valor presente de los flujos de efectivo. La tabla 4 muestra los cálculos de los flujos de efectivo.

Al hacer 100 000 escenarios es como se llega al valor de ambas volatilidades del proyecto, empleando las sigmas correspondientes. También es importante recalcar que el VPN del proyecto, sin considerar la opción de posponer, es de \$7 731.92, aunque parece ser una cifra baja, los datos que en este artículo se proponen son por hectárea, así que, si el agricultor o dueño posee, por ejemplo, diez hectáreas, entonces tendría una ganancia esperada de \$77 319.20.

Tabla 4
Flujos de efectivo y valor presente neto

inversión inicial	45 133.04	
total de tomate	24 840.00	kilogramos
Transporte	10 000.00	
precio por kilogramo	19 000.00	
	tiempo	0 1
inversión inicial	45 133.04	
ganancia		62 872.13
costo de transporte		10 000.00
FE	45 133.04	52 872.13
VPN	7 731.92	

Fuente: elaboración propia.

5. Cálculo del valor de la opción

En este apartado se presenta el cálculo del valor de la opción “esperar”, utilizando como insumo cada una de las volatilidades obtenidas. Se considera que en caso de que se presente una caída súbita en el valor del proyecto, el agricultor podrá vender la cosecha al precio mínimo histórico de 1.8 pesos el kilogramo (aunque en el futuro pueda ocurrir que el precio esté por debajo de este precio histórico se considera que la probabilidad es muy baja, por lo que se puede aseverar con cierto grado de certeza que al menos los productores podrán colocar sus cosechas a este precio). Por tratarse de una opción que se puede ejercer en cualquier momento dentro de los siguientes diez días, los árboles binomiales presentan una alternativa adecuada para el cálculo de la opción. Para este estudio se presentan a continuación, en la tabla 5, los resultados obtenidos para el caso en el que la volatilidad es de 0.51 aproximadamente.

Tabla 5
Cálculo del valor de la opción

		P 0.375467493									
Vol	0.511229525	Total de tomates	24 840.00 kg								
VP	\$ 52 865.78	Precio/kg	1.8								
rfd	0.00012		34 712.00								
u	1.667339972										
d	0.599757708										
transporte	0										
0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	52865.78	88145.24	146 968.07	245 045.75	408 574.57	681232.71	1 135 846.52	1893 842.31	3 1157 678.98	5 264 964.38	8 778 418.87
		31 706.66	52 865.78	88 145.24	146 968.07	245 045.75	408 574.57	681 232.71	1 135 846.52	1 893 842.31	3 157 678.98
			19 016.31	31 706.66	52 865.78	88 145.24	146 968.07	245 045.75	408 574.57	681 232.71	1 135 846.52
				11 405.18	19 016.31	31 706.66	52 865.78	88 145.24	146 968.07	245 045.75	408 574.57
					6 840.35	11 405.18	19 016.31	31 706.66	52 865.78	88 145.24	146 968.07
						4 102.55	6 840.35	11 405.18	19 016.31	31 706.66	52 865.78
							2 460.54	4 102.55	6 840.35	11 405.18	19 016.31
								1 475.73	2 460.54	4 102.55	6 840.35
									885.08	1 475.73	2 460.54
										530.83	885.08
											318.37
	69 516.38	99 814.76	153 930.81	248 430.83	410 131.90	682 541.85	1 137 483.22	1 895 661.16	3 159 194.94	5 264 924.38	8 768 418.87
		513 314.42	67 299.49	97 147.20	151 264.26	246 438.48	409 163.30	681 886.96	1 136 391.83	1 893 842.31	3 147 678.98
			41 714.10	49 368.05	64 630.81	94 074.80	148 656.05	245 281.09	408 770.72	681 232.71	1 125 846.52
				37 120.57	40 201.60	46 941.57	61 278.75	90 593.86	147 038.63	245 045.75	398 574.57
					35 275.39	36 157.27	38 331.11	43 666.35	56 676.81	88 145.24	136 968.07
						34 751.99	34 857.32	35 130.95	35 852.88	37 768.95	42 865.78
							34 695.34	34 699.51	34 703.67	34 707.84	34 712.00
								34 699.51	34 793.67	34 707.84	34 712.00
								34 703.67	34 707.84	34 712.00	34 712.00
									34 707.84	34 712.00	34 712.00
										34 712.00	34 712.00
VPN	24 383.34	Considerando la opción									
VPN	7 731.92	Sin considerar la opción									
	16 651.42	Valor de la opción									
	69 516.38	99 814.76	153 930.81	248 430.83	410 131.90	682 541.85	1 137 483.22	1 895 661.16	3 159 194.94	5 257 453.20	
		51 314.42	67 299.49	97 147.20	151 264.26	246 438.48	409 163.30	681 886.96	1 136 391.83	1 884 752.71	
			41 714.10	49 368.05	64 630.81	94 074.80	148 656.05	245 281.09	408 770.72	671 560.96	
				37 120.57	40 201.60	46 941.57	61 278.75	90 593.86	147 038.63	235 164.59	
					35 275.39	36 157.27	38 331.11	43 666.35	56 676.81	78 188.75	
						34 751.99	34 857.32	35 130.95	35 852.88	37 768.95	
							34 695.34	34 699.51	34 703.67	34 707.84	
								34 699.51	34 703.67	34 707.84	
									34 703.67	34 707.84	
										34 707.84	
											34 707.84

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6

Fuente: elaboración propia.

Se observar el valor de la opción de \$16 651.42, el cual es bastante significativo, ya que es un poco más del doble del valor del proyecto \$7 731.92, obtenido previamente, sin considerar el valor de la opción. Como se anticipó, para este caso, la volatilidad tan alta tuvo un impacto significativo en los resultados.

Empleando la volatilidad encontrada con los intervalos de confianza de 0.35 y siguiendo el procedimiento de la tabla 5, se obtiene el valor de la Opción en la tabla 6.

En este caso se aprecia que el valor de la opción es de \$9 893.45, que comparada nuevamente con el valor del proyecto sin opción de \$7 731.92, es mayor al 100%.

6. Conclusiones

La conclusión más importante que se rescata de este trabajo, es que las OR agregan valor a los proyectos cuando éstas se consideran en la evaluación de los mismos. Al evaluar un proyecto de inversión, la decisión es estática, esto es, una vez tomada no hay forma de cambiarla, en otras palabras, es irreversible, aún al emplear árboles de decisiones, éstos no consideran la posibilidad del arbitraje, por lo que el empleo de las OR cubre tanto el aspecto de la rigidez, al dar flexibilidad a las decisiones y además ajusta la tasa a través del tiempo, evitando el arbitraje. Una segunda conclusión que resalta del presente trabajo, se refiere al cálculo de la volatilidad del Proyecto, su estimación no es trivial y el impacto de éste en el valor de la opción es relevante, en este trabajo se emplearon dos formas alternativas para estimar la volatilidad del Proyecto, sin embargo, se aprecia que en ambos casos los valores fueron diferentes, a pesar de tratarse del mismo proyecto. No obstante, en la diferencia que se presentaron en los valores de las volatilidades empleadas, en ambos casos se aprecia que la opción agrega valor, en uno de ellos en aproximadamente 2.1 veces y en el otro en aproximadamente 1.3 veces, como se mencionó las diferencias si son significativas. Otra de las conclusiones que se presentan, es que se recomienda a los agricultores posponer el periodo de cosecha, ya que este reditúa más que el cosechar al inicio de la temporada, esto es de vital importancia, ya que sí se desea establecer una estrategia al respecto, la recomendación será esperar.

También derivado del análisis del precio del tomate, se encuentra que dichos precios muestran un comportamiento estacional marcado, su evolución

a través del periodo de análisis se mantiene casi invariante, mientras que la tendencia es suave pero estadísticamente significativa, lo que hace pensar que el precio frecuente puede ser pronosticado con cierta certeza.

La intención de los estudios y/o aplicaciones de las OR, ya sea en la práctica o en tópicos de investigación, es la de promover su uso, destacando sus virtudes sobre lo que se llama “métodos tradicionales”, como el VPN, sin embargo, aún queda camino por recorrer para que esta técnica tenga la aceptación y el uso que se espera de ella. En México, paraestatales como PEMEX, la han empleado, o farmacéuticas donde se realiza investigación y desarrollo, ésta, ha tenido un impacto significativo, sin embargo, existe un gran auge para que, en la economía, específicamente la mexicana, se creen empresas, las cuales tienen en sus manos proyectos que deben ser evaluados, sin embargo, aún no se tiene un continuo uso de esta técnica ya sea por falta de recursos o de especialistas que tengan un manejo ágil sobre el tema de las OR.

En este trabajo se plantean varias investigaciones futuras, la primera de ellas es establecer un mecanismo o técnica que permita estimar la volatilidad del proyecto y demostrar que ésta es mejor que la obtenida a través de alguna otra técnica, por ejemplo, sería de interés saber en este caso, cuál de las dos volatilidades obtenidas en este estudio refleja mejor el comportamiento del proyecto. Por otra parte, es de interés el cálculo de la tasa de descuento, que para este caso no resultó tan relevante como el de la volatilidad, ya que ambos proyectos fueron evaluados a la misma tasa que para fines prácticos no fue esencial para demostrar que las OR generan valor, pero que para un productor o dueño de hectáreas si es trascendental.

Referencias

- Acton, Ashton (2012). *Advances in Environment Research and Application*. Atlanta, Georgia: Scholarly Editions, pp. 88-130.
- Aguado, S. y A. Garrido (2008). "Evaluación de un Seguro Agrario mediante Opciones Reales". *Revista de Economía Aplicada*, xvi, pp. 51-76.
- Aguado, Salom (2009). "Gestión de Riesgos en Agricultura: Análisis y Prospección de Seguros de Ingresos en España", pp. 67-120.
- Banco de México (2011). Documento metodológico INPC. 7. <http://www.banxico.org.mx/portal-inflacion/inflacion.html>.
- BonWoo, Koo y Brian Wright (2000). "The Optimal Timing of Evaluation of Genebank Accessions and the Effects of Biotechnology". *American Journal of Agricultural Economics*, pp. 82, 15.
- Borison, Adam (2005). "Real Option Analysis: Where are the Emperor's Clothes?". *Journal of applied corporate finance*, Columbia business school.
- Dixit A. y R. Pindyck (1994). *Investment Under Uncertainty*. New Jersey: Princeton.
- Gregory E. Freya, D. Evan Mercerb, Frederick W. Cubbagec, Robert C. Abtc (2013). "A real options model to assess the role of flexibility in forestry and agroforestry adoption and disadoption in the Lower Mississippi Alluvial Valley". *Agricultural Economics*, 44, pp. 73-91
- Méndez, Mariano, Prosper Lamothe (2013). *Opciones reales. Métodos de simulación y valoración*. Ecobook, Madrid España.
- Milanesi, G.: G. Woitschach, y Broz, D. (2012). "Aplicación de la teoría de opciones reales a la determinación del momento óptimo de cosecha forestal". *Revista FCA Uncuyo*, 44(2), pp. 65-78.
- Suárez, Andrés Santiago (2004). "Opciones reales". *Documentos de Trabajo de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*; núm. 04, ISSN: 2255-5471.
- Trigeorgis, L. 1997. *Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocations*. Cambridge, MIT Press, pp. 80-130.
- Toscano Pardo, D. (2004). "Valoración de inversiones a través del enfoque de las opciones reales. Aplicación a la industria de celulosa onubense", Tesis doctoral, Universidad de Huelva, pp. 60-95.
- Tzouramani, I. y K. Mattas (2004). "Employing real options methodology in agricultural investments: the case of greenhouse construction". *Journal Applied Economics Letters*, vol. 11, Issue 6, pp. 355-359.