

# EVALUACIÓN DEL NOPAL VERDURA COMO ALIMENTO FUNCIONAL MEDIANTE OPCIONES REALES

## NOPAL EVALUATION AS FUNCTIONAL FOOD BY MEANS OF REAL OPTION

Karina Valencia-Sandoval, José de J. Brambila-Paz, José S. Mora-Flores\*

Departamento de Economía. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Carretera México-Texcoco Km. 36.5. Montecillo, Estado de México. (saturnmf@colpos.mx).

### RESUMEN

El nopal (*Opuntia* spp.) es una especie básica en el consumo de los mexicanos, ya que en torno a este producto giran innumerables actividades económicas del campo y la industria. Además, el nopal puede ser considerado como un alimento funcional, es decir, que mejora la salud de quien lo consume. El objetivo del presente estudio fue comparar la ganancia obtenida con un cultivo de nopal tradicional con uno donde se invierten recursos para darle un mayor valor agregado. La evaluación tradicional obteniendo el valor actual neto, y una evaluación con opciones reales que, comparado con la evaluación tradicional, contempla la volatilidad en los precios y el cambio de decisiones que puede tomar el encargado del proyecto. En la segunda evaluación se usan árboles binomiales y las fórmulas de Black-Scholes con opción de expandir hasta 6 ha. Las evaluaciones se hicieron para comparar la relación beneficio-costeo y el valor crítico en el Distrito Federal, Estado de México, estados de Morelos, Guanajuato, Baja California, Aguascalientes, y en todo el país. El análisis de los resultados mostró que existen mayores beneficios de la inversión en la producción de nopal con un mayor valor agregado del producto, situación que se observa claramente usando los instrumentos de opciones reales.

**Palabras clave:** *Opuntia* spp., evaluación tradicional, expansión, inversión, valor crítico, volatilidad.

### INTRODUCCIÓN

La industria alimenticia genera alimentos funcionales cuya apariencia es similar al de un alimento convencional, se consume como parte de una dieta normal y presenta propiedades fisiológicas beneficiosas que reducen el riesgo de contraer

### ABSTRACT

The nopal (*Opuntia* spp.) is a basic species of food staple in México, since around this product spins innumerable economic activities of the countryside and industry. In addition, the nopal can be considered as a functional food, this is, improves health of those who consume it. The aim of this study was to compare the gain with a traditional nopal crop with one crop where resources are invested to give it a higher aggregate value. The traditional evaluation obtaining the present net value, and an evaluation with real options that, compared with the traditional evaluation, includes the price volatility and the decision-making that people in charge of the project can take. In the second evaluation binomial trees and Black-Scholes formulas are used with an option to expand up to 6 ha. Evaluations were done to compare the benefit-cost ratio and the critical value in the Federal District, State of México, and states of Morelos, Guanajuato, Baja California, Aguascalientes, and around the country. The analysis of the results showed that there are greater benefits from investment in the production of nopal with a higher aggregate value, a situation that is clearly seen using the tools of real options.

**Key words:** *Opuntia* spp., traditional evaluation, expansion, investment, critical value, volatility.

### INTRODUCTION

The food industry produces functional foods, whose appearance is similar to that of a conventional food, it is consumed as part of a normal diet and presents physiological benefit properties which reduce the risk of chronic diseases (Mazza, 1998). Although functional products are under growth and development and only represent a small percentage of total food consumption, at a time they will become a common product. In 1997, the market for functional foods was US\$12 500

\*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: Enero, 2010. Aprobado: Octubre, 2010.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 44: 955-963. 2010.

enfermedades crónicas (Mazza, 1998). Aunque los productos funcionales están en fase de crecimiento y desarrollo, y representan sólo un pequeño porcentaje del consumo total de alimentos, se generalizan cada vez más. En 1997, el mercado de alimentos funcionales fue US\$12 500 millones en la UE, \$14 700 millones en los EE.UU. y \$1100 millones en Japón. Para el 2012, en la UE 25 % de las ventas será de alimentos funcionales y 50 % en los EE.UU. (Heasman y Mellentin, 2001).

Del nopal (*Opuntia* spp.) como alimento funcional, los frutos y los cladodios son una fuente importante de: fibra, hidrocoloides (mucílagos), pigmentos (betalaínas y carotenoides), Ca y K, y vitamina C; compuestos muy apreciados para una dieta saludable y como ingredientes para diseñar nuevos alimentos (Sáenz, 2006).

En México, en el 2007, la superficie sembrada con nopal fue 11 583.56 ha con riego o como temporal; el Distrito Federal tuvo 4337 ha (38 % del total) y el estado de Morelos 2530 ha (22 %), lo cual fue 60 % del cultivo de nopal (SIAP, 2009).

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), y la Delegación Milpa Alta en el Distrito Federal calcularon para 2007 un costo de producción por hectárea de \$9055.00, el cual se compone de asistencia técnica (55 %), cajas de plástico para el empaque (19 %), labores de cultivo y costos de los insumos (26 %) (SAGARPA, 2009).

Los precios del nopal fluctúan inversamente con la disponibilidad del producto y con la presentación (con o sin espinas). Hay dos épocas en la producción de nopal: la mayor parte se obtiene de febrero a agosto, donde existe menor precio debido a una producción abundante; de septiembre a enero, como consecuencia del cambio de clima, la producción disminuye y el precio sube (CoMeNTuna, 2009).

En México, la mayor parte de la producción de nopal se comercializa en fresco en el mercado nacional, por lo que es necesario alargar su vida de anaquel. El nopal al que se remueve las espinas es comercializado en centros comerciales, mercados y en menor cantidad, en tianguis; en la época de mayor producción, la oferta supera a la demanda (SIAP, 2009).

Este estudio enfatiza el nopal como alimento diferenciado. La diferenciación se muestra a través de

million in the EU, \$14 700 million in the USA and \$1100 million in Japan. For 2012, in the EU 25 % of sales will be of functional foods and 50 % in the USA (Heasman and Mellentin, 2001).

Of the nopal (*Opuntia* spp.) as a functional food, fruits and cladodes are an important source of fiber, hydrocolloids (mucilage) pigments (betalains and carotenoids), Ca and K, and vitamin C; compounds highly prized for a healthy diet and as ingredients to design new foods (Sáenz, 2006).

In México, in the 2007, the area sown with nopal was 11 583.56 ha either irrigated or rainfed; the Federal District had 4337 ha (38 % of the total) and the State of Morelos, 2530 ha (22 %), which was 60 % of the nopal crop (SIAP, 2009).

The Ministry of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries and Food (SAGARPA for its Spanish initials), and the Milpa Alta Section in the Federal District, for 2007 calculated the cost of production per hectare of \$9055.00, which consisted of technical assistance (55 %), plastic boxes for packaging (19 %), cultivation labor and input costs (26 %) (SAGARPA, 2009).

Nopal prices fluctuate inversely with the product availability and presentation (with or without thorns). There are two stages in the production of nopal: most of the production being from February to August, where the price is low due to an abundant production; from September to January, as a result of climate change, production decreases and the price rises (CoMeNTuna, 2009).

In México, most production of nopal is sold fresh at the domestic market, making it necessary to lengthen its shelf life. The nopal whose thorns are removed is sold in commercial centers, supermarkets, and in lesser amounts, in tianguis; during the higher production season supply exceeds demand (SIAP, 2009).

This study emphasizes nopal as a differentiated food. The differentiation is shown by growth rate of prices, which change incorporating to the product a higher aggregate value. The nopal with thorns is sold at local markets at \$5000.00 t. This product it with a higher aggregate value through removing thorns, packaged and put on the shelves of department stores, increases its price up to \$ 8900.00 t: a growth rate of prices of 1.78 %. Nopal without thorns, chopped, packaged in plastic bags, is sold at \$10 000.00 t; this product in brine, high vacuum packaging and a label

la tasa de crecimiento de los precios que cambian al incorporar al producto un mayor valor agregado. El nopal con espinas se vende en los mercados locales a \$5000.00 t. Ese producto con un mayor valor agregado mediante el desespinado, empacado y puesto en los estantes de los centros comerciales, incrementa su precio a \$8900.00 t: una tasa de crecimiento de los precios de 1.78 %. El nopal desespinado, picado, empacado en bolsas de plástico, se vende a \$10 000.00 t; ese producto en salmuera, envasado al alto vacío y con una etiqueta con logotipo e información para el consumidor, se vende a \$37 000.00 t: una tasa de crecimiento de los precios de 3.7 %.

El objetivo de este estudio fue evaluar si es factible invertir en el cultivo de nopal verdura, al darle un mayor valor agregado y promover sus características funcionales. Además, comparar una evaluación de proyectos tradicional y una basada en opciones reales cuando el producto tiene un mayor valor agregado. También se plantea integrar la volatilidad en los precios del nopal, con el fin de evaluar proyectos con alternativas para la toma de decisiones.

La hipótesis en este estudio fue que la volatilidad en los precios del cultivo del nopal no hace atractivo una inversión, pero si se agrega mayor valor al producto mediante la industrialización y la exposición de sus características funcionales, entonces será atractivo invertir en el cultivo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó con datos del SIAP (de 1997 a 2007). Primero se obtuvieron los precios reales por ha (base 2007) y luego las tasas de crecimiento continuas y discretas del rendimiento por ha. Los costos del Distrito Federal se consideraron como los costos generales para todas las entidades evaluadas, ya que es la entidad más representativa del cultivo de nopal verdura. Además, el rendimiento esperado por ha se calculó desde el tercer año de cultivo (cuando se inicia su producción comercial) iniciando con 20 t ha<sup>-1</sup> (comunicación personal, Ing. Vicente Calva, Representante del Sistema Producto Nopal y Tuna y Presidente del Consejo Mexicano de Nopal y Tuna, A. C.).

El beneficio-costo se calculó con la fórmula:

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^T B_t (1+r)^t}{\sum_{t=1}^T C_t (1+r)^t}$$

donde,  $t$  son los años de vida del proyecto;  $B$ , los beneficios actualizados, resultado de multiplicar el precio por la cantidad

with logo and information for consumers is sold at \$37 000.00 t; a growth rate of price of 3.7 %.

The aim of this study was to evaluate whether it is feasible to invest in the cultivation of nopal giving it a higher aggregate value and promoting its functional characteristics. Besides, to compare an evaluation of traditional projects and another based on real options when the product has a higher aggregate value. In addition it is posed to integrate the volatility in the prices of the nopal in order to evaluate projects with alternatives for the decision making.

The hypothesis in this study was that volatility in the prices of the cultivation of nopal is not attractive for an inversion, but if a higher value is added to the product through industrialization and exposition of its functional characteristics, then it will be attractive to invest in the crop.

## MATERIALS AND METHODS

The study was carried out with data from the SIAP —Agriculture and Fishery Information Service— (from 1997 to 2007). First, the actual prices per ha (base 2007) were obtained and then the growth rates of discrete and continuous yield per ha. Federal District costs were considered as overall costs for all entities evaluated, since it is the most representative entity of the cultivation of nopal as a vegetable. In addition, the expected yield per ha was calculated from the third year of cultivation (when its commercial production starts) beginning with 20 t ha<sup>-1</sup> (personal communication, Eng. Vicente Calva, Representative of the Sistema Producto Nopal y Tuna and President of the Mexican Council of Nopal and Tuna, A. C.).

The cost-benefit ratio was calculated with the formula:

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^T B_t (1+r)^t}{\sum_{t=1}^T C_t (1+r)^t}$$

where  $t$  is the years of life of the project;  $B$ , current benefits, the result of multiplying the price by the quantity sold;  $r$ , the interest rate;  $C$ , the updated production costs (Domínguez, 2009).

In the evaluation through Real Options, binomial trees were used to determine how much the producer would be willing to invest to differentiate his crop making it functional (Brennan and Schwartz, 1985). Then the Black-Scholes formula was used to evaluate the option of expanding once differentiated to 6 hectares.

venta;  $r$ , la tasa de interés;  $C$ , los costos actualizados de producción (Domínguez, 2009).

En la evaluación a través de Opciones Reales, se usaron árboles binomiales para determinar cuánto estaría dispuesto a invertir el productor para diferenciar su cultivo volviéndolo funcional (Brennan y Schwartz, 1985). Luego se usó las fórmulas de Black-Scholes para evaluar la opción de expandir una vez diferenciado a 6 ha.

Para establecer los árboles binomiales en la evaluación del proyecto se consideró al producto diferenciado desde el establecimiento de la huerta, para comparar que pasa si se posterga la decisión de invertir en los años 5, 6, 7, 8, 9 o 10 aumentando  $(1 + \bar{r})$  sólo en el año de estudio, donde la tasa de crecimiento discreta ( $\bar{r}$ ) toma dos valores diferentes en cada año:  $\bar{r}$  es equivalente a 1.78 que es la tasa de crecimiento discreta entre los precios de tonelada del nopal fresco con espinas distribuido en los mercados locales; y un producto con mayor valor agregado al darle presentación y un lugar en los estantes de los centros comerciales. La siguiente evaluación se realizó con una tasa de crecimiento de los precios  $\bar{r}$  de 3.7, la cual muestra una mayor agregación de valor del producto, como ya se explicó. Así, cada tasa de crecimiento discreta se agregó primero independientemente si el proyecto marchaba bien o mal, y luego sólo con el supuesto que marchase mal (nodos debajo del promedio). También fue necesario calcular la desviación estándar de los precios  $\sigma$  (Cuadro 2), que representa su volatilidad, y así se definió el monto obtenido cuando va bien (UP)  $\mu = e^{\sigma}$ , y cuando va mal (DOWN)  $d = e^{-\sigma}$  (Cuadro 1), (Brambila, 2006). En términos generales, el árbol binomial fue construido como se muestra en la Figura 1, expandiéndose al número de años deseado, en este caso hasta el año 10.

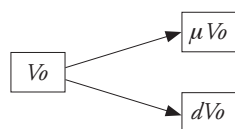


Figura 1. Árbol binomial.

donde,  $V_0$  es el valor actual de la acción o flujo de efectivo descontado;  $\mu V_0$  es el valor de “nos va bien”;  $dV_0$  representa el valor de “nos va mal” (Díaz y Hernández, 2003).

Una vez que, por medio de los árboles binomiales, se han obtenido los montos que se pudieran generar por invertir en el cultivo, se traen estos datos a valor presente:

$$Vp_a = \frac{pV_b + (1-p)V_c}{1+r}$$

To establish the binomial trees in the evaluation of the project it was considered the differentiated product from the establishment of the orchard, to compare what happens if the decision to invest in the years 5, 6, 7, 8, 9 or 10 is postponed, increasing  $(1 + \bar{r})$  only in the year of study, where the discrete growth rate ( $\bar{r}$ ) takes two different values each year:  $\bar{r}$  is equivalent to 1.78 which is the discrete growth rate between the price of a ton of fresh nopal with thorns distributed in the local markets; and a product of a high aggregate value giving it presentation and place on the shelves of commercial centers. The following evaluation was carried out with a growth rate of prices  $\bar{r}$  of 3.7, which shows a higher aggregation to the value of the product, as explained above. Thus each discrete growth rate was added first regardless if the project was going up or down and, then, only under the assumption that was going down (nodes below the average). It was also necessary to calculate the standard deviation of prices  $\sigma$  (Table 2) which represents its volatility, and thus could be defined the amount obtained when going up  $\mu = e^{\sigma}$ , and when it goes down  $d = e^{-\sigma}$  (Table 1), (Brambila, 2006). In general terms, the binomial tree was constructed as shown in Figure 1, expanding to the number of years desired, in this case until 10.

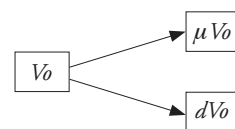


Figure 1. Binomial tree.

where,  $V_0$  is the current stock value or discounted cash flow;  $\mu V_0$  is the value of “we do well”;  $dV_0$  represents the value of “it goes badly” (Díaz and Hernández, 2003).

Once, through binomial trees the amounts that could be generated by investing in the crop have been obtained, these data are brought to present value:

Cuadro 1. Cálculo de up, down y probabilidades para la obtención de los árboles binomiales.

Table 1. Up and down calculation and probabilities to obtain the binomial trees.

Entidad Federativa	$\mu$	$d$	p
Distrito Federal	1,39	0,72	0,49
Morelos	1,25	0,80	0,56
Estado de México	1,26	0,80	0,55
Guanajuato	1,30	0,77	0,53
Baja California	1,39	0,72	0,49
Aguascalientes	1,39	0,72	0,49

Fuente: Elaboración propia ♦ Source: Authors.

**Cuadro 2. Cálculo del valor crítico (V\*).**  
**Table 2. Calculation of critical value (V\*).**

Entidad Federativa	$\rho$	$\alpha$	$\sigma^2$	B	$\beta-1$	V*
Distrito Federal	0.05	-0.010	0.11	1.72	0.72	2.39
Morelos	0.05	-0.083	0.05	4.79	3.79	1.26
Estado de México	0.05	0.030	0.05	1.31	0.31	4.23
Guanajuato	0.05	-0.015	0.07	2.11	1.11	1.90
Baja California	0.05	0.014	0.11	1.40	0.40	3.50
Aguascalientes	0.05	0.014	0.11	2.76	1.76	1.57

$\rho$ : probabilidad;  $\alpha$ : media de tasas continuas de crecimiento;  $\sigma^2$ : varianza de las tasas continuas de crecimiento de los precios;  $\beta$ : parámetro para obtener V\* ❖  $\rho$ : probability;  $\alpha$ : mean of continuous growth rates;  $\sigma^2$ : variance of continuous growth rates of prices;  $\beta$  parameter to obtain V\*.

$\alpha$  y  $\sigma^2$  están calculadas con respecto a precios reales base 2007 en el período 1997-2007 ❖  $\alpha$  and  $\sigma^2$  are calculated with respect to real prices base 2007 in the period 1997-2007.

Fuente: Elaboración propia ❖ Source: Author.

donde,  $p$  es la probabilidad de que el proyecto marche bien;  $V_b$  es el valor del nodo superior;  $(1-p)$  es la probabilidad de que el proyecto marche mal;  $V_c$  el valor del nodo inferior; y  $r$  es la tasa real. Al traer este dato a valor presente se encontró una diferencia con el valor inicial o flujo de efectivo descontado; esta diferencia representa lo que el productor puede estar dispuesto a invertir para promover su producto con mayor valor agregado.

Para calcular el valor de la opción de expandir a 6 ha, se usa una opción de compra, CALL, que es el derecho de expandir pero no la obligación por medio de las fórmulas de Black-Scholes:

$$C = SN(d_1) - Ke^{-\gamma t} N(d_2)$$

donde,  $C$  es el precio de la opción "call";  $S$  es el valor inicial o precio del activo subyacente;  $K$  es la opción de salida predeterminada;  $\gamma$  equivale a la tasa constante libre de riesgo;  $t$  es el tiempo prefijado para ejercer la acción, si así conviene;  $e$  es la base de los logaritmos naturales; y  $N(dn)$  son los valores de la función de distribución normal estandarizada para  $dn$  (Hull, 2002).

El valor crítico se obtiene mediante:

$$\frac{V^*}{I} = \frac{\beta}{\beta-1}$$

El valor de  $\beta$  se obtiene de la forma siguiente:

$$\beta = \frac{-\left(\alpha - \frac{1}{2}\sigma^2\right) + \sqrt{\left(\alpha - \frac{1}{2}\sigma^2\right)^2 - 4\left(\frac{1}{2}\sigma^2\right)(-P)}}{\sigma^2}$$

donde,  $(P)$  es la tasa de descuento;  $(\alpha)$  es la tasa de crecimiento de los precios; y  $(\sigma^2)$  la varianza de los precios.

$$V_{p_a} = \frac{pV_b + (1-p)V_c}{1+r}$$

where,  $p$  is the probability that the project goes right;  $V_b$  is the value of the superior node;  $(1-p)$  is the probability that the project goes wrong;  $V_c$  is the value of the inferior node; and  $r$  is the real rate. Bringing this datum to the present value a difference with the initial value or discounted cash flow was found; this difference represents what the producer is willing to invest to promote his product with a higher aggregate value.

To calculate the value of the option to expand to 6 hectares, an option of buying is used, CALL, which is the right to expand but not the obligation by means of the Black-Scholes formulas.

$$C = SN(d_1) - Ke^{-\gamma t} N(d_2)$$

where,  $C$  is the price of the "call" option;  $S$  is the initial value or the price of the underlying stock;  $K$  is the predetermined output option;  $\gamma$  is equivalent to the constant risk-free rate;  $t$  is the preset time to exert the action, if it is convenient;  $e$  is the base of the natural logarithms; and  $N(dn)$  are the values of the function of standardized normal distribution for  $dn$  (Hull, 2002).

The critical value is obtained by:

$$\frac{V^*}{I} = \frac{\beta}{\beta-1}$$

The value of  $\beta$  is obtained as follows:

$\beta$  es necesariamente mayor a 1

El proyecto es rentable si se cumple:  $\frac{B}{C} > \frac{\beta}{\beta-1}$  (Domínguez, 2009).

$$\beta = \frac{-\left(\alpha - \frac{1}{2}\sigma^2\right) + \sqrt{\left(\alpha - \frac{1}{2}\sigma^2\right)^2 - 4\left(\frac{1}{2}\sigma^2\right)(-P)}}{\sigma^2}$$

where, ( $P$ ) is the discount rate; ( $\alpha$ ) is the growth rate of prices; and ( $\sigma^2$ ) variance of prices.

$\beta$  is necessarily higher than 1

The project is profitable if it satisfies:  $\frac{B}{C} > \frac{\beta}{\beta-1}$  (Domínguez, 2009).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se muestra los valores críticos estimados para las entidades federativas estudiadas. Como se observa, a medida que aumenta el valor crítico (lo mínimo que se exige al proyecto por peso invertido) existe mayor riesgo en la inversión debido a que los precios presentan mayor volatilidad, como en el caso del Estado de México (4.23) y Baja California (3.5). Para el Distrito Federal el cálculo del valor crítico fue 2.39, mientras que los estados con un menor valor crítico y por lo tanto menor riesgo de inversión son Guanajuato (1.9), Aguascalientes (1.57) y Morelos (1.26).

### Comparativo entre el valor crítico y la relación beneficio-costo obtenida de una evaluación tradicional

La relación beneficio-costo obtenida a partir del Valor Actual Neto, donde el nopal se cultiva de manera tradicional, muestra que en la mayoría de los casos el beneficio-costo es superior en comparación con el valor crítico (Cuadro 3). Aguascalientes presenta una relación beneficio-costo de 6.68, aumentando poco más de 5 puntos en comparación con su valor crítico, por lo que se deduce que el cultivo del nopal es rentable. Situación similar se presenta en Morelos que tiene una relación beneficio costo de 6.95, por lo que ésta es mayor al valor crítico. Guanajuato presenta un beneficio-costo de 2.51. Los estados que tienen un beneficio-costo menor a su valor crítico, como consecuencia en la volatilidad en los precios y los bajos rendimientos, son el Distrito Federal (2.32), Estado de México (1.70) y Baja California (2.51).

### Relación beneficio-costo obtenida de los árboles binomiales

Por medio de los árboles binomiales, se obtuvo la cantidad que los productores estarían dispuestos a destinar por hectárea para obtener un producto con un mayor valor agregado. En esta situación, la relación beneficio-costo cambia.

## RESULTS AND DISCUSSION

The critical values estimated for the federal entities studied are shown in Table 2. As noted, as the critical value increases (the minimum that is required of the project by peso invested) there is more risk in investment, because prices have higher volatility, as in the case of the State of México (4.23) and Baja California (3.5). For the Federal District the calculation of the critical value was 2.39, while in the states with a lower critical value and therefore less investment risk were Guanajuato (1.9), Aguascalientes (1.57) and Morelos (1.26).

### Comparison between the critical value and benefit-cost ratio obtained from a traditional evaluation

The cost-benefit ratio obtained from the Net Present Value, where the nopal is cultivated in a traditional way, shows that in most cases the cost-benefit is higher compared with the critical value (Table 3). Aguascalientes has a cost-benefit ratio of 6.68, increasing slightly more than 5 points compared to its critical value, so it follows that the nopal crop is profitable. Similar situation is in Morelos that has a cost-benefit ratio of 6.95, so it is higher than the critical value. Guanajuato has a cost-benefit of 2.51. The states that have a benefit-cost below their critical value, as a consequence in the volatility in the prices and low yields, are the Federal District (2.32), State of Mexico (1.70) and Baja California (2.51).

**Cuadro 3. Cálculo de la relación beneficio-costo con los flujos de efectivo actualizados.**  
**Table 3. Calculation of the benefit-cost ratio with current cash flows.**

Entidad Federativa	Beneficio (B)	Costo (C)	Inversión (I)	Relación B/C+I
Distrito Federal	891955,3257	178305	206195,449	2,32
Morelos	2005339,105	82550	206195,449	6,95
Estado de México	654313,7128	178305	206195,449	1,70
Guanajuato	964220,2556	178305	206195,449	2,51
Baja California	951319,4611	178305	200000	2,51
Aguascalientes	2179631,935	126075	200000	6,68

Nota: los flujos de efectivo se actualizaron a 20 años, con una tasa de interés de 0.05 ❖ Note: the cash flows were updated at 20 years, with an interest rate of 0.05.

Fuente: Elaboración propia ❖ Source: Author

Cuando se agrega una tasa de crecimiento continua de 1.78, independientemente si marcha bien o mal el proyecto, la relación beneficio-costo permanece constante, independientemente del año 4, 5, 6, 7, 8, 9 o 10. Aguascalientes y Morelos presentan una relación beneficio-costo de 29.75 y 13.78, aumentando considerablemente en comparación con el valor crítico. Mientras el beneficio-costo para el Distrito Federal (4.67), Estado de México (2.95), Guanajuato (5.19) y Baja California (5.10) no aumenta en la misma proporción que Aguascalientes y Morelos, sí crece en comparación con sus anteriores valores cuando no se le consideraba un producto diferenciado (Cuadro 4).

Bajo las mismas condiciones, si el producto se diferencia con una tasa de 3.7, el beneficio-costo, queda así: Distrito Federal 5.19, Morelos 22.60, Estado de México 4.3, Guanajuato 8.09, Baja California 7.93 y Aguascalientes 48.83. Se observa que a una mayor diferenciación del producto, mayor será el beneficio obtenido (Cuadro 5).

La relación beneficio-costo no aumenta de forma considerable si únicamente se invierte cuando el proyecto marcha mal.

### Cost-benefit ratio obtained from the binomial trees

Through binomial trees, it was obtained the amount producers are willing to spend per hectare to obtain a product with higher aggregate value. In this situation, the benefit-cost ratio changes.

When a continuous growth rate of 1.78 is added regardless whether the project goes right or wrong, the cost-benefit rate remains constant, regardless of the year 4, 5, 6, 7, 8, 9 or 10. Aguascalientes and Morelos present a cost-benefit ratio of 29.75 and 13.78, respectively, increasing considerably compared with the critical value. While cost-benefit for the Federal District (4.67), State of México (2.95), Guanajuato (5.19) and Baja California (5.10) does not increase in the same proportion as Aguascalientes and Morelos do, it does grow in comparison with previous values when it was not considered a differentiated product (Table 4).

Under the same conditions, if the product is different from a rate of 3.7, the cost-benefit, is as follows: Federal District 5.19, Morelos 22.60, State of México 4.3, Guanajuato 8.09, Baja California

**Cuadro 4. Cálculo del beneficio-costo con base en los árboles binomiales a una  $\bar{r} = 1.78$  (todos los nodos).**  
**Table 4. Benefit-cost calculation based on binomial trees to an  $\bar{r} = 1.78$  (all nodes).**

Entidad Federativa	Valor incrementado (D)	Beneficio (B)	Costo (C)	Inversión (I)	Relación B+D/C+I
Distrito Federal	903269.7	891955.3	178305.0	206195.4	4.67
Morelos	2931577.5	2005339.1	152190.0	206195.4	13.78
Estado de México	480267.6	654313.7	178305.0	206195.4	2.95
Guanajuato	1031901.3	964220.3	178305.0	206195.4	5.19
Baja California	1008937.8	951319.5	178305.0	206195.4	5.10
Aguascalientes	3195334.1	2179631.9	178305.0	2349.2	29.75

Fuente: Elaboración propia ❖ Source: Author.

### Relación beneficio-costo a partir de las fórmulas de Black-Scholes

Tomando en cuenta la opción de expandirse a 6 ha, se aplicaron las fórmulas de Black-Scholes para obtener el "call", es decir, el monto que se estaría dispuesto a invertir por expandirse.

El valor de la relación beneficio-costo, una vez que se agrega el valor del "call", aumenta año con año, aunque en escala menor (Cuadro 6).

### CONCLUSIONES

Al evaluar un proyecto de inversión comparando el valor crítico (rendimiento mínimo de la inversión con volatilidad de precios), con la tradicional relación beneficio-costo, ésta debe ser mayor que el primero para que el proyecto sea rentable.

La evaluación de los proyectos mediante el uso de los árboles binomiales que incorporan tasas de crecimiento continuas de los precios, las que reflejan una mayor diferenciación del producto, se tiene que la

7.93 and Aguascalientes 48.83. It is observed that a greater product differentiation, the greater the benefit obtained (Table 5).

The cost-benefit ratio does not increase significantly if there is investment only when the project goes wrong.

### Cost-benefit ratio from the Black-Scholes formulas

Taking into account the option of expanding to 6 ha, Black-Scholes formulas were applied to obtain the "call", that is, the amount that the grower would be willing to invest to expand.

The value of the cost-benefit ratio, once the value of "call" is added, increases year after year, although on a smaller scale (Table 6).

### CONCLUSIONS

In evaluating an investment project by comparing the critical value (minimum return on investment

**Cuadro 5. Cálculo del beneficio-costo con base en los árboles binomiales a una  $\bar{r} = 3.7$  (todos los nodos).**  
**Table 5. Benefit-cost calculation based on binomial trees to an  $\bar{r} = 3.7$  (all nodes).**

Entidad Federativa	Valor incrementado (D)	Beneficio (B)	Costo (C)	Inversión (I)	B+D/C+I
Distrito Federal	1031901.26	964220.26	178305.00	206195.45	5.19
Morelos	6093728.53	2005339.10	152190.00	206195.45	22.60
Estado de México	998309.08	654313.71	178305.00	206195.45	4.30
Guanajuato	2144963.29	964220.26	178305.00	206195.45	8.09
Baja California	2097230.35	951319.46	178305.00	206195.45	7.93
Aguascalientes	6641986.50	2179631.94	178305.00	2349.17	48.83

Fuente: Elaboración propia ❖ Source: Author

**Cuadro 6. Relación beneficio-costo por año, calculado utilizando las fórmulas de Black-Scholes.**  
**Table 6. Benefit-cost ratio per year calculated using the Black-Scholes formulas.**

Entidad Federativa	Años						
	4	5	6	7	8	9	10
Nacional	2.59	2.59	2.57	2.56	2.54	2.52	2.49
Distrito Federal	2.73	2.77	2.81	2.85	2.88	2.91	2.93
Morelos	5.68	5.69	5.7	5.7	5.71	5.71	5.71
México	1.88	1.9	1.91	1.92	1.92	1.93	1.93
Guanajuato	2.77	2.8	2.82	2.84	2.86	2.87	2.88
Baja California	2.87	2.92	2.96	2.99	3.02	3.14	3.07
Aguascalientes	12.91	13.01	13.08	13.17	13.23	13.29	13.34

Fuente: Elaboración propia con base en cálculos realizados ❖ Source: Author, based on calculation carried out.



relación beneficio-costos aumenta considerablemente, y hace que los proyectos sean generalmente más rentables.

Al considerar una opción de expansión del proyecto a través de las fórmulas Black-Scholes, denominada “call”, se observa que la relación beneficio-costos aumenta año con año, aunque con incrementos modestos.

### LITERATURA CITADA

- Brambila P., J. J. 2006. En el Umbral de una Agricultura Nueva. Edit. Universidad Autónoma Chapingo y Colegio de Postgraduados. México. pp: 280-294.
- Brennan, M. J., and E. S. Schwartz. 1985. Evaluating natural resource investments. University of Chicago. J. Business: 135-157.
- Callejas J., N., J. A. Matus G., J. A. García S., M. A. Martínez D., y J. M. Salas G. 2009. Situación actual y perspectivas de mercado para la tuna, el nopalito y derivados en el Estado de México, 2006. *Agrociencia* 43: 73-82
- CoMeNTuna. 2009. Consejo Mexicano del Nopal y la Tuna A. C. México. [www.comentuna.com.mx](http://www.comentuna.com.mx) (consultado: junio-agosto 2009).
- Díaz T., J., y F. Hernández T. 2003. Futuro y Opciones Financieras: una Introducción. 3a. ed. Limusa Noriega Editores. México. 191 p.
- Domínguez A., R. 2009. Utilización de opciones reales en proyectos de inversión agrícola. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. 118 p.
- Heasman, M., and J. Mellentin. 2001. The Functional Foods Revolution: Healthy people, healthy profits? Earthscan Publications. England. 32 p.
- Hull, J. 2002. Introducción a los Mercados de Futuros y Opciones. Edit. Pearson. España. 560 p.
- INEGI. 2009. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Base de datos. México. [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx). (consultado: junio 2009).
- Lomelí E., A. 2004. La Sabiduría de la Comida Popular. Grijalbo. México. 206 p.
- Mazza G. 1998. Alimentos Funcionales. Aspectos Bioquímicos y de Procesado. Acibria, S. A. España. 402 p.

with price volatility) with the traditional cost–benefit ratio, it must be larger than the first one to make the project profitable.

The evaluation of projects by use of binomial trees that incorporate continuous growth rates of prices, those rates that reflect a higher differentiation of the product, shows that the cost–benefit ratio increases considerably, and makes that the projects be generally more profitable.

When considering an option of expansion of the project through the Black-Scholes, formulas, denominated “call”, it is noted that the cost-benefit ratio increases year after year, although with modest increases.

—End of the English version—



- Mondragón-Jacobo C. 2004. Mejoramiento Genético del Nopal. Avances al 2003 y perspectivas. *In*: Esparza F. G., R. D. Váldez C., y G. Méndez S. (eds). El Nopal. Tópicos de Actualidad. Colegio de Postgraduados. Universidad Autónoma de Chapingo. México. pp: 49-71.
- Mun, J. 2002. Real Options Analysis: Tools and Techniques for Valuing Strategic Investment and Decisions. Wiley Finance Series. USA. 156 p.
- Saénz H. C. 2004. Compuestos funcionales y alimentos derivados de Opuntia spp. *In*: Esparza F. G., R. D. Váldez C., y G. Méndez S. (eds). El Nopal. Tópicos de Actualidad. Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo. México. pp: 211-221.
- SAGARPA. 2009. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx). (consultado: junio-agosto 2009).
- SIAP, SAGARPA. 2009. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario agrícola 1997-2007. México. [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx). (consultado: junio-agosto 2009).