

Análisis económico de la aplicación de fertilizantes minerales en el rendimiento del nopal tunero*

Economic analysis of the application of mineral fertilizers on the yield of prickly pear

Jorge A. Zegbe^{1§}, Blanca Isabel Sánchez-Toledano¹, Alfonso Serna-Pérez¹ y Jaime Mena-Covarrubias¹

¹Campo Experimental Zacatecas-INIFAP. Apartado Postal Núm. 18, Calera de Víctor Rosales, Zacatecas, 98500, México. (bsanchez@zacatecas.inifap.gob.mx; aserna@zacatecas.inifap.gob.mx; jmena@zacatecas.inifap.gob.mx). [§]Autor para correspondencia: jzegbe@zacatecas.inifap.gob.mx.

Resumen

El nopal tunero (*Opuntia* spp.) responde positivamente a la fertilización mineral (FM) y orgánica. Sin embargo, no existe información en cuanto al rendimiento óptimo biológico de la tuna ni del análisis económico respectivo en función de la FM al suelo. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue hacer un análisis económico del rendimiento de la tuna, en términos de tasa de retorno marginal, con base en función de diferentes dosis de fertilizantes minerales a base de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). El experimento se estableció en una huerta comercial y se evaluó de marzo a septiembre de los años 2004, 2005 y 2006. Las dosis de N fueron: 0, 30, 60 y 90 kg ha⁻¹. Las dosis para P fueron: 0, 30, 45 y 60 kg ha⁻¹ y las de K fueron: 0, 30 y 60 kg ha⁻¹. Los tratamientos de NPK se arreglaron en una matriz factorial incompleta. El experimento se condujo en un diseño en bloques completos al azar y los tratamientos se replicaron tres veces. La adición de fertilizantes minerales al suelo incrementó, en promedio, el rendimiento de la tuna a partir del segundo ciclo de evaluación. La dosis 90N-30P-30K no sólo promovió el mayor rendimiento, sino también generó el mayor beneficio-costo y tasa marginal de retorno. La optimización del rendimiento de la fruta (27 t ha⁻¹) se alcanzó con la dosis de fertilización 80 kg N ha⁻¹ y 50 kg P ha⁻¹ y coincidió con la mayor tasa de beneficio-costo. El análisis económico no sólo ofrece las mejores alternativas

Abstract

The prickly pear (*Opuntia* spp.) Responds positively to organic mineral fertilization (FM). However, there is no information as to the biological optimum performance of the tuna and the respective economic analysis based on the FM down. Therefore, the objective of this research was to make an economic analysis of the performance of the tuna, in terms of marginal rate of return, based on function of different doses of mineral fertilizers of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K). The experiment was established in a commercial orchard and evaluated from March to September of the years 2004, 2005 and 2006. N rates were 0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹. P Doses were 0, 30, 45 and 60 kg ha⁻¹ and K were 0, 30 and 60 kg ha⁻¹. NPK treatments were arranged in an incomplete factorial matrix. The experiment was conducted in a design and randomized complete block treatments were replicated three times. The addition of mineral fertilizers to the soil increased, on average, the performance of the tuna from the second evaluation cycle. The dose 90N -30P -30K not only promoted the highest yield, but also generated the highest benefit-cost and marginal rate of return. Optimization fruit yield (27 t ha⁻¹) was achieved with fertilization 80 kg N ha⁻¹ and 50 kg P ha⁻¹ and coincided with the highest rate of cost-benefit. The economic analysis not only offers

* Recibido: septiembre de 2013
Aceptado: marzo de 2014

fertilización mineral en la producción de tuna ‘Cristalina’, sino también otras opciones de fertilización mineral que redundan en beneficios económicos.

Palabras clave: *Opuntia albicarpa* Scheinvar, análisis de sensibilidad, rendimiento, relación beneficio-costo, tasa marginal de retorno.

Introducción

El nopal (*Opuntia* spp.) es una planta xerófila Mexicana que ahora es cultivada en regiones agroecológicas similares del mundo para solucionar problemas de erosión del suelo, como forraje, para consumo humano como hortaliza (nopalito) y fruta, y en múltiples propósitos agroindustriales (Murray, 1999; Basile, 2001; Mondragón, 2001; Potgieter, 2001; Nefzaoui y Ben Salem, 2002; Guevara *et al.*, 2009; Iturriga *et al.*, 2009; Pichler *et al.*, 2012). Después del cultivo del nogal y el manzano, el nopal tunero es uno de los frutales con mayor importancia socioeconómica en México.

La tuna se produce en una superficie $\approx 57\,000$ ha con un volumen de producción $\approx 353\,000$ t a nivel nacional. El estado de Zacatecas produce 103 000 t en una superficie $\approx 17\,000$ ha, de las cuales 683 ha se cultivan bajo riego con un rendimiento de 16.3 t ha^{-1} y 7 t ha^{-1} en temporal (SIAP, 2013). El consumo *per cápita* de la tuna se ha mantenido, relativamente, sin cambio ya que éste ha fluctuando entre 3.7 kg (Flores *et al.*, 1995) y 3.8 kg (Financiera Rural, 2011).

La productividad del nopal cultivado para la producción de fruta es variable a nivel mundial (Nerd *et al.*, 1991; García de Cortazar y Nobel, 1992; Inglese, 1995; Claassens y Wessels, 1997; Pimienta y Ramírez, 1999; Galizzi *et al.*, 2004; Ochoa y Uhart, 2006; Zegbe y Mena, 2009). En parte, la variación del rendimiento se debe al mismo germoplasma (Mondragón, 2001), al diseño y manejo de la huerta (Inglese, 1995; Fernández y Mondragón, 1998). En relación con el manejo de la huerta, tanto el riego (Barbera, 1984; Nerd *et al.*, 1989) como la nutrición mineral-orgánica (Pimienta y Ramírez, 1999) tienen un efecto positivo en la productividad de la tuna. Muchas investigaciones sobre nutrición mineral han sido dedicadas hacia la producción de tuna fuera de temporada (Nerd *et al.*, 1991; Nerd y Mizrahi, 1994; Zegbe y Mena, 2008); mientras que para la producción estacional, las sugerencias en la aplicación de nitrógeno, fósforo y potasio (N, P, y K, respectivamente), fuentes, cantidades y épocas de

the best alternative mineral fertilization on the production of tuna ‘Cristalina’, but other methods of mineral fertilizers that result in economic benefits.

Keywords: *Opuntia albicarpa* Scheinvar, sensitivity analysis, performance, cost-benefit, marginal rate of return.

Introduction

The prickly pear (*Opuntia* spp.) is a Mexican xerophytic plant is now cultivated in similar agro-ecological regions of the world to solve problems of soil erosion, as fodder for human consumption as a vegetable (nopalito) and fruit, and in multiple agro purposes (Murray, 1999; Basile, 2001; Mondragón, 2001; Potgieter, 2001; Nefzaoui and Ben Salem, 2002; Guevara *et al.*, 2009; Iturriga *et al.*, 2009; Pichler *et al.*, 2012). After cultivation of walnut and apple, prickly pear fruit is one of the most socio-economic importances in Mexico.

The tuna is produced in an area $\approx 57\,000$ ha with a production volume of $\approx 353\,000$ t nationwide. Zacatecas state produces 103 thousand t in an area $\approx 17\,000$ ha, of which 683 ha are cultivated under irrigation in a yield of 16.3 t ha^{-1} and 7 t ha^{-1} in temporal (SIAP, 2013). The per capita consumption of tuna has remained relatively unchanged since it was fluctuating between 3.7 kg (Flores *et al.*, 1995) and 3.8 kg (Financiera Rural, 2011).

The productivity of cactus grown for fruit varies worldwide (Nerd *et al.*, 1991; García de Cortazar and Nobel, 1992; Inglese, 1995; Claassens and Wessels, 1997; Pimienta and Ramírez, 1999; Galizzi *et al.*, 2004; Ochoa and Uhart, 2006; Zegbe and Mena, 2009). Part of the variation in performance is due to the same germplasm (Mondragón, 2001), the design and management of Orchard (Inglese, 1995; Fernández and Mondragón, 1998). Regarding the management of the garden, both irrigation (Barbera, 1984; Nerd *et al.*, 1989) and the mineral-organic nutrition (Pimienta and Ramírez, 1999) have a positive effect on the productivity of the tuna. Much research on mineral nutrition have been dedicated to the production of tuna out of season (Nerd *et al.*, 1991; Nerd and Mizrahi, 1994; Zegbe and Mena, 2008), while for seasonal production, the suggestions in implementing nitrogen, phosphorus and potassium (N, P, and K, respectively), sources,

aplicación, difieren de autor a autor; y por consiguiente han generado resultados inconsistentes en cuanto al rendimiento de esta fruta (Pimienta, 1986; Gathaara *et al.*, 1989; Nerd y Mizrahi, 1994; Inglese, 1995; Inglese *et al.*, 1999; Fernández y Mondragón, 1998; Sáenz, 1998; García *et al.*, 2008; Felker y Bunch, 2009).

En otras investigaciones se ha indicado que la aplicación de NPK no tiene influencia en el rendimiento (Karim *et al.*, 1998; Galizzi *et al.*, 2004); mientras que en otros estudios, la optimización biológica del rendimiento de la tuna en función de un amplio intervalo de dosis de NPK, no ha sido posible (Gathaara *et al.*, 1989; Pimienta y Ramírez, 1999; Galizzi *et al.*, 2004; Ochoa y Uhart, 2006) o se ha logrado parcialmente (Claassens y Wessels, 1997). Sin embargo, recientemente, la optimización del rendimiento de la tuna 'Cristalina' (27 t ha⁻¹) se alcanzó, hasta el tercer año de evaluación, con la aplicación al suelo de 80 kg de N ha⁻¹ y 50 kg de P ha⁻¹. Este estudio reveló también que el K no influyó en el incremento en el rendimiento (Zegbe *et al.*, 2012).

El nopal tunero ha sido sugerido como una alternativa de cultivo para regiones áridas y semiáridas marginales del Centro-Norte de México donde el recurso hídrico es escaso no sólo para las actividades agropecuarias, sino también para el uso doméstico. Sin embargo, como en todas las plantas, el agua en el suelo juega un papel preponderante en la extracción de los nutrientes de la solución del suelo (Taiz y Zeiger, 2006); por lo tanto, cuando se aplica fertilizante mineral al nopal bajo temporal, ésta se lleva a cabo poco antes (Pimienta, 1990) o cuando la estación lluviosa se ha establecido (Sáenz, 1998; García *et al.*, 2008). En huertas que cuentan con recursos hídricos, la aplicación del fertilizante se fracciona y se aplica con el riego (Zegbe *et al.*, 2012).

Aun cuando la aplicación de fertilizantes minerales incrementa el rendimiento de la tuna en 3.8 veces, este insumo representa, en promedio, 27% del costo de producción, sin embargo, un análisis económico sobre esta práctica no ha sido documentado. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue hacer un análisis económico del rendimiento de la tuna, en términos de tasa de retorno marginal, con base en función de diferentes dosis de fertilizantes minerales a base de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). En ésta investigación se utilizaron fertilizantes minerales de liberación lenta como el sulfato de amonio, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio los cuales son usados más eficientemente por esta planta (Pimienta, 1990).

amounts and times of application differ from author to author, and therefore have generated inconsistent results regarding the performance of this fruit (Pimienta, 1986; Gathaara *et al.*, 1989; Nerd and Mizrahi, 1994; Inglese, 1995; Inglese *et al.*, 1999; Fernández and Mondragón, 1998; Sáenz, 1998; García *et al.*, 2008; Felker and Bunch, 2009).

Other research has indicated that the application of NPK has no influence on performance (Karim *et al.*, 1998; Galizzi *et al.*, 2004), While in other studies the biological performance optimization of tuna depending on a wide range of doses of NPK, it has not been possible (Gathaara *et al.*, 1989; Pimienta and Ramírez, 1999; Galizzi *et al.*, 2004; Ochoa and Uhart, 2006) and has been partially achieved (Claassens and Wessels, 1997). But recently, the performance optimization of tuna 'Cristalina' (27 t ha⁻¹) was reached until the third year of evaluation, soil application of 80 kg N ha⁻¹ and 50 kg P ha⁻¹. This study also revealed that K did not influence the increase in performance (Zegbe *et al.*, 2012).

The prickly pear has been suggested as an alternative crop for marginal arid and semiarid regions of North Central Mexico where the resource is scarce not only for agricultural activities, but also for domestic use. However, like all plants, soil water plays a major role in the removal of nutrients from the soil solution (Taiz and Zeiger, 2006), therefore, when applied to mineral fertilizer cactus foster, it takes place shortly before (Pimienta, 1990) or when the rainy season has been established (Sáenz, 1998; García *et al.*, 2008). In orchards that have water, fertilizer application is split and applied with irrigation (Zegbe *et al.*, 2012).

Although the application of mineral fertilizers increases the yield of tuna in 3.8 times, this input represents, on average, 27% of the cost of production, however, an economic analysis of this practice has not been documented. Therefore, the objective of this research was to make an economic analysis of the performance of the tuna, in terms of marginal rate of return, based on function of different doses of mineral fertilizers of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K). In this research slow release fertilizer minerals such as ammonium sulfate, calcium triple superphosphate and potassium chloride which are used more efficiently by this plant (Pimienta, 1990) were used.

Materiales y métodos

Sitio experimental y material vegetativo

El estudio se condujo de marzo a octubre de 2004 a 2006 en la huerta comercial 'Rancho La Tunera' ubicada en la comunidad de Santa Fe, Jerez, Zacatecas (22° 32' latitud norte; 103° 03' longitud oeste), la cual se encuentra a 1 976 m sobre el nivel del mar. El sitio experimental tiene una temperatura media anual de 25.7 °C y una precipitación anual promedio de 482 mm, de la cual 62% ocurre durante el verano. El suelo es del tipo franco arenoso [arena (66%), arcilla (14.3%) y limo (19%)] con menos de 1% de materia orgánica y pH de 6.1.

El lote experimental consistió en árboles de nopal variedad 'Cristalina' de tres años de edad espaciados a 4 m y 3 m entre hileras y árboles, respectivamente. Las plantas fueron conducidas a centro abierto. Excepto por la fertilización mineral, los árboles fueron manejados con prácticas comerciales de producción que incluyeron: poda de fructificación, riego por goteo, control de plagas, enfermedades y maleza. La carga de producción se ajustó con raleo de frutos cuates y la eliminación de una yema floral entre frutos antes del inicio de la floración.

Tratamientos

Los tratamientos de NPK se arreglaron en una matriz factorial incompleta. Las dosis de N fueron: 0, 30, 60 y 90 kg ha⁻¹, Las de P fueron: 0, 30, 45 y 60 kg ha⁻¹ y las de K fueron 0, 30 y 60 kg ha⁻¹. Los tratamientos probados fueron 1= 00N-00P-00K (testigo absoluto); 2= 00N-30P-30K; 3= 30N-30P-30K; 4= 60N-30P-30K; 5= 90N-30P-30K; 6= 60N-45P-30K; 7= 60N-60P-30K; 8= 60N-30P-00K; 9= 90N-30P-60K; y 10= 90N-60P-60K. El experimento se condujo en un diseño en bloques completos al azar, en donde los tratamientos fueron aleatorizados restringidamente a grupos de cinco árboles, dejando al menos tres plantas en blanco entre tratamientos. Los tratamientos se replicaron tres veces. Dos árboles centrales y con plena competencia fueron usados para recabar la información.

Las fuentes de N, P y K fueron sulfato de amonio, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio, respectivamente. La mitad del N y todo el P y K se aplicaron con un riego al inicio de la brotación. El resto del N se aplicó después de la cosecha aprovechando la humedad residual del suelo o con la aplicación de un riego.

Materials and methods

Experimental site and plant material

The study was conducted from March to October from 2004 to 2006 in commercial orchard 'Rancho La Tunera' located in the community of Santa Fe, Jerez, Zacatecas (22° 32' north latitude, 103° 03' W), which is to 1 976 m above sea level. The experimental site has an average annual temperature of 25.7 °C and an average annual rainfall of 482 mm, of which 62% occurs during the summer. The soil is sandy loam [sand (66%), clay (14.3%) and silt (19%)] with less than 1% organic matter and pH of 6.1.

The test group consisted of variety of cactus trees 'Cristalina' spaced three years of age to 4 m and 3 m between rows and trees, respectively. The plants were taken to open center. Except for the mineral fertilization, trees were managed for commercial production practices that included: fructification pruning, drip irrigation, pest, diseases and weeds. The output load is adjusted with friends fruit thinning and removal of a flower bud between fruit before the start of flowering.

Treatments

NPK treatments were arranged in an incomplete factorial matrix. N rates were 0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹, The P were 0, 30, 45 and 60 kg ha⁻¹ and K were 0, 30 and 60 kg ha⁻¹. The treatments tested were 1= 00N-00P-00K (absolute control); 2= 00N-30P-30K; 3= 30N-30P-30K; 4= 60N-30P-30K; 5= 90N-30P-30K; 6= 60N-45P-30K; 7= 60N-60P-30K; 8= 60N-30P-00K; 9= 90N-30P-60K; and 10= 90N-60P-60K. The experiment was conducted in a design in randomized complete block, where treatments were randomized into groups of five narrowly trees, leaving at least three blank plants between treatments. Treatments were replicated three times. Two central and full competition trees were used to gather information.

The sources of N, P and K were ammonium sulfate, calcium triple superphosphate and potassium chloride, respectively. Half of the N and all the P and K were applied with a watering to start sprouting. The remainder of the N are applied after harvesting on residual moisture or soil irrigation application.

Rendimiento

Después de cada cosecha, se contó el número de frutos y después se registró el peso de la fruta por categorías utilizando el diámetro ecuatorial de la fruta como criterio de clasificación. Las categorías fueron: 1= (> 7 cm); 2= (7-6 cm); 3= (5.9-5 cm); y 4= (4.9-4.1 cm).

Análisis económico

Con base en la metodología del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y trigo (CIMMYT) (1988), el análisis económico se realizó con el rendimiento promedio de tres años de evaluación. Los costos fijos fueron el riego, poda de fructificación, aclareo de frutos, deshierbe manual y mecanizado, y control de plagas y enfermedades; mientras que los costos variables fueron las dosis de fertilizantes minerales con un precio de venta de \$ 2.1 por kg de tuna. Con el beneficio bruto (B) y el costo de producción (C) se estimó la relación B/C. Para determinar la rentabilidad de los tratamientos de fertilizantes minerales se realizó un análisis económico de dominancia donde se calculó la tasa de retorno marginal dividiendo el incremento marginal del beneficio neto entre el incremento marginal del costo variable.

Se consideró un valor mínimo de 100% para evaluar la tasa de retorno marginal. Por otro lado, el análisis de sensibilidad consideró el rendimiento, costo de producción del mejor tratamiento y el testigo sin fertilización. Para el incremento en costo de producción se consideraron dos escenarios. En el primero se contempló un incremento 40% en el costo de producción con respecto al observado en 2012 y un precio de venta de \$ 2.1 por kg de tuna (precio medio nacional). En el segundo se consideró el mismo porcentaje de incremento en el costo de producción, pero manteniendo el precio de \$ 3.86 por kg de tuna.

Análisis de la información

La información de rendimiento se analizó en un modelo lineal en bloques completos al azar con el procedimiento GLM del sistema de análisis estadístico SAS (SAS Institute, Cary, NC, USA). La comparación entre tratamientos por año, se hizo a través de contrastes ortogonales.

Yield

After each harvest, the number of fruits was counted and then the fruit weight was recorded by categories using the equatorial fruit diameter as classification criteria. The categories were: 1= (> 7 cm); 2= (7-6 cm); 3= (5.9-5 cm); and 4= (4.9-4.1 cm).

Economic analysis

Based on the methodology of the International Center for Maize and Wheat Improvement (CIMMYT) (1988), the economic analysis was performed with the average three-year evaluation. Fixed costs were watering, pruning fruiting, fruit thinning, weeding and manual machining, and control of pests and diseases, while variable costs were doses of mineral fertilizers with a selling price of \$ 2.1 per kg of tuna. With gross profit (B) and the cost of production (C) ratio was estimated B/C. To determine the profitability of mineral fertilizer treatments economic dominance analysis where the marginal rate of return is calculated by dividing the marginal increase in net profit between the marginal variable cost increases was made.

A minimum value of 100% was considered to evaluate the marginal rate of return. Furthermore, the sensitivity analysis considered yield, production cost of treatment and better control without fertilization. Considered two scenarios for the increase in production cost. In the first contemplated an increase 40% production cost with respect to that observed in 2012 and a selling price of \$ 2.1 per kg of tuna (national average price). The second is considered the same percentage increase in the cost of production, but keeping the price of \$ 3.86 per kg of tuna.

Analysis of information

Yield information was analyzed in a linear model in a randomized complete block design with the GLM procedure of SAS statistical analysis system (SAS Institute, Cary, NC, USA). The comparison between treatments per year was made through orthogonal contrasts.

Resultados y discusión

Rendimiento

El análisis de la información no detectó diferencias entre tratamientos para el ciclo de evaluación de 2004, la falta de rechazo de las hipótesis nulas para los siete contrastes ortogonales plantados confirmó la igualdad promedio entre tratamientos (Cuadro 1; Figura 1A). En la evaluación de 2005, la hipótesis nula para el primer y segundo contraste indicó, en promedio, que el efecto de la adición de NPK incrementó el rendimiento de la fruta en comparación con las plantas testigo (sin fertilizante) o en aquellas fertilizadas solamente con P y K, respectivamente (Cuadro 1; Figura 1B); ambas hipótesis fueron consistentes para la evaluación 2006 (Cuadro 1; Figura 1C).

Por otra parte, en los contrastes del C_3 al C_6 se comparó diferentes dosis de P y K con 60 kg ha^{-1} de N, de éstos se rechazó la hipótesis nula únicamente para el quinto y sexto contraste. En el contraste C_5 se concluyó que, en promedio, el tratamiento 9 (60N-30P-60K) incrementó significativamente el rendimiento de fruta en comparación con el tratamiento 7 (60N-60P-30K). En el contraste C_6 , el rendimiento promedio de los tratamientos 4 (60N-30P-30K) y 9 (60N-30P-60K) fue menor que el rendimiento promedio de los tratamientos 5 (90N-30P-30K) y 10 (90N-60P-60K) (Cuadro 1 y Figura 1B).

Aun cuando las tendencias del rendimiento promedio se mantuvieron en los contrastes del C_3 al C_6 , las hipótesis nula para cada uno de ellos no se rechazó en la evaluación de 2006 (Cuadro 1 y Figura 1C). El contraste C_7 probó la hipótesis de igualdad del rendimiento promedio entre los tratamientos 5 (90N-30P-30K) y 10 (90N-60P-60K), la cual no se rechazó y fue consistente con el resultado en 2006 (Cuadro 1 y Figura 1C).

Cuadro 1. Partición de la suma de cuadrados y nivel de significación ($p > F_c$) para pruebas independientes de contrastes ortogonales.

Table 1. Partition the sum of squares and significance level ($p > F_c$) for independent testing of orthogonal contrasts.

Fuentes de variación	g.l.	Ciclos de evaluación					
		2004		2005		2006	
		S.C.	$P > F_c$	S.C.	$P > F_c$	S.C.	$P > F_c$
Bloques	3	16.6	0.51	57.7	0.01	172.5	0.09
Tratamientos	9	70.3	0.74	865.5	0.0001	1184.7	0.005
$C_1: \tau_1 \text{ vs } \tau_2, \dots, \tau_{10}$	1	5.3	0.51	192.3	0.001	477.0	0.01
$C_2: \tau_2 \text{ vs } \tau_3, \dots, \tau_{10}$	1	11.6	0.34	368.7	0.001	417.9	0.002

g.l.= grados de libertad; S.C.= suma de cuadrados; r^2 = coeficiente de determinación; C.V.= coeficiente de variación.

Results and discussion

Yield

The data analysis did not detect differences between treatments for the 2004 assessment cycle, the lack of rejection of the null hypothesis for the seven orthogonal contrasts confirmed the average planted equality between treatments (Table 1, Figure 1A). In the evaluation 2005, the null hypothesis for the first and said second contrast, on average, than the effect of the addition of NPK increased fruit yield compared to control plants (without fertilization) or those fertilized only with P and K, respectively (Table 1, Figure 1B), both hypotheses were consistent for the 2006 assessment (Table 1, Figure 1C).

Moreover, in contrast to the C_3 , C_6 different doses of P and K compared to 60 kg ha^{-1} of N, of these the null hypothesis was rejected for the fifth and sixth contrast only. In contrast C_5 concluded that, on average, treatment 9 (60N -30P -60K) significantly increased fruit yield compared with treatment 7 (60N -60P -30K). In the C_6 told, the average yield of treatments 4 (60N -30P -30K) and 9 (60N -30P -60K) was lower than the average of five treatments (90N -30P -30K) and 10 (90N - 60P -60K) (Table 1 and Figure 1B).

Although average trends were maintained in the contrasts of C_3 to C_6 , the null for each hypothesis is not rejected in the 2006 assessment (Table 1 and Figure 1C). The C_7 told tested the hypothesis of equality of average between treatments 5 (90N -30P -30K) and 10 (90N -60P -60K), which was not rejected and was consistent with the results in 2006 (Table 1 and Figure 1C).

Cuadro 1. Partición de la suma de cuadrados y nivel de significación ($p > F_c$) para pruebas independientes de contrastes ortogonales (Continuación).**Table 1. Partition the sum of squares and significance level ($p > F_c$) for independent testing of orthogonal contrasts. (Continuation).**

Fuentes de variación	g.l.	Ciclos de evaluación					
		2004		2005		2006	
		S.C.	$P > F_c$	S.C.	$P > F_c$	S.C.	$P > F_c$
$C_3: \tau_8 \text{ vs } \tau_4, \tau_6, \tau_7, \tau_9$	1	43.2	0.07	12.0	0.129	8.0	0.62
$C_4: \tau_6 \text{ vs } \tau_7, \tau_9$	1	0.0	0.96	1.8	0.547	2.0	0.80
$C_5: \tau_7 \text{ vs } \tau_9$	1	4.6	0.54	24.5	0.035	5.8	0.67
$C_6: \tau_4, \tau_9 \text{ vs } \tau_5, \tau_{10}$	1	0.0	0.96	146.5	0.0001	55.8	0.20
$C_7: \tau_5 \text{ vs } \tau_{10}$	1	0.8	0.80	15.8	0.084	20.0	0.43
Restante	1	4.9		104.0		198.2	
Error	18	214.8		79.3		522.7	
Total	29	301.8		1002.5		1184.7	
r^2 (%)		29		92		73	
C.V. (%)		36.1		17.9		25.7	

g.l.= grados de libertad; S.C.= suma de cuadrados; r^2 = coeficiente de determinación; C.V.= coeficiente de variación.

A diferencia de los trabajos publicados con nopal por Gathaara *et al.* (1989), Karim *et al.* (1998) y Galizzi *et al.* (2004), la variedad ‘Cristalina’ de nopal tunero respondió positivamente a la adición anual de fertilizante mineral al suelo. El estudio demostró que los fertilizantes minerales en esta planta también tiene un efecto acumulativo, y por lo tanto éste se refleja y se estabiliza en los siguientes años; lo cual es avalado por los coeficientes de determinación observados en este estudio (Cuadro 1). Este patrón de respuesta es característico en árboles frutales como manzano (Nielsen *et al.*, 1999) o durazno cultivado en suelos con baja fertilidad (Zegbe-Domínguez y Rumayor-Rodríguez, 1996).

Análisis económico**Tasa de retorno marginal para rendimiento medio**

El análisis económico indicó que el tratamiento 5 (90N-30P-30K) incrementó 37% los costos de producción en comparación con el testigo. Sin embargo, este tratamiento mejoró el beneficio neto (377%) y la relación beneficio/costo (248%) en comparación con el tratamiento testigo (00N-00P-00K) (Cuadro 2). El estudio también reveló que el beneficio neto y la relación beneficio/costo fueron inferiores en el resto de los tratamientos; es decir, que dosis menores o mayores a 90N-30P-30K no son económicamente atractivas para la producción de tuna bajo riego. Esto último se confirmó con la tasa de retorno marginal, la cual indicó, que por cada peso invertido, se obtendrá una ganancia de \$ 55.84 (Cuadro 2).

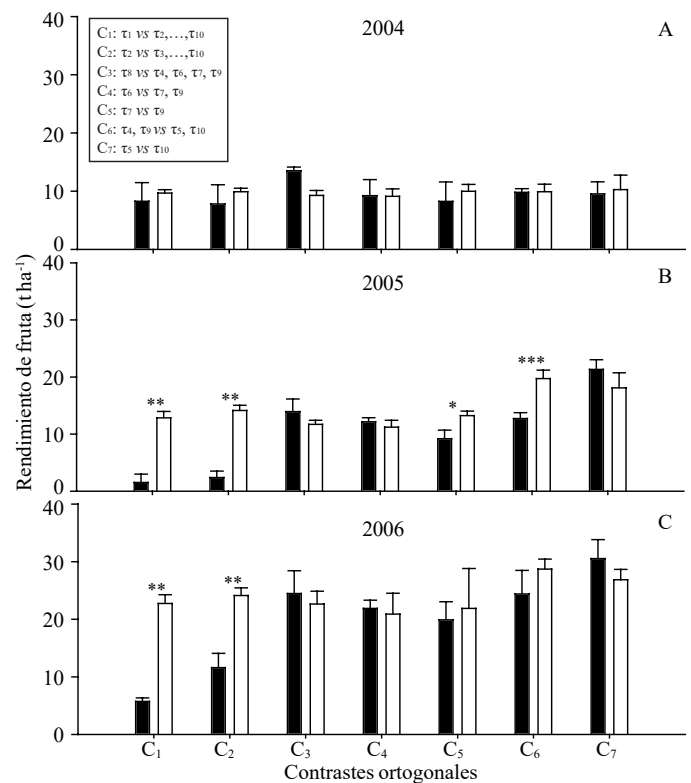


Figura 1. Contrastes ortogonales para el rendimiento del nopal tunero variedad ‘Cristalina’. Las barras verticales en cada promedio representan el error estándar y los asteriscos *, ** y *** indican significancias con $p < 0.01$, $p < 0.001$ y $p < 0.0001$, respectivamente.

Figure 1. Orthogonal contrasts for performance prickly pear variety ‘Cristalina’. The vertical bars on each mean represent the standard error and asterisks *, ** and *** indicate significances with $p < 0.01$, $p < 0.001$ and $p < 0.0001$, respectively.

Cuadro 2. Análisis económico de la aplicación de fertilizantes minerales en el rendimiento medio de nopal tunero ‘Cristalina’.
Table 2. Economic analysis of the application of mineral fertilizers in the average yield of prickly pear ‘Cristalina’.

Concepto	Tratamiento de fertilizantes minerales									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	00-00-00	00-30-30	30-30-30	60-30-30	90-30-30	60-45-30	60-60-30	60-30-00	60-30-60	90-60-60
Costo del fertilizantes (F) (\$ ha ⁻¹)	0	483.4	623.8	764.2	904.6	883.9	1003.6	520.2	1008.3	1388.1
Costo de aplicación del F (\$ ha ⁻¹) [†]	0	450.0	450.0	450.0	450.0	450.0	450.0	450.0	450.0	450.0
Gasolina (\$ ha ⁻¹)	0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
Costos totales variables (\$ ha ⁻¹)	0	968.4	1108.8	1249.2	1389.6	1368.9	1488.6	1005.2	1493.3	1873.1
Costo de producción (\$ ha ⁻¹)	3729.9	4698.3	4838.7	4979.1	5119.5	5098.8	5218.5	4735.1	5223.2	5603.0
Rendimiento experimental (kg ha ⁻¹)	5700.0	7300.0	14100.0	16300.0	20500.0	14700.0	12500.0	17300.0	15100.0	18400.0
Rendimiento ajustado (kg ha ⁻¹)	5130.0	6570.0	12690.0	14670.0	18450.0	13230.0	11250.0	15570.0	13590.0	16560.0
Beneficio bruto (\$ ha ⁻¹) [§]	10773.0	13797.0	26649.0	30807.0	38745.0	27783.0	23625.0	32697.0	28539.0	34776.0
Beneficio neto (\$ ha ⁻¹)	7043.1	9098.7	21810.3	25827.9	33625.5	22684.2	18406.5	27961.9	23315.8	29173
Relación beneficio/costo	2.89	2.94	5.51	6.19	7.57	5.45	4.53	6.91	5.46	6.21
Beneficio neto marginal (\$)	–	2055.6	12249.6	3849.6	7839.6	-10899.3D	-4109.7D	9093.4	-4478.1D	5500.2
Costo marginal variable (\$)	–	968.4	140.4	140.4	140.4	-20.7	119.7	-483.4	488.1	379.8
Tasa de retorno marginal (%)	–	212	8725	2742	5584	-52654	-3433	-1881	-917	1448

[†]Se requirieron \$ 450.0 para tres jornales en la aplicación de fertilizante; [§]= se consideró \$2.1 por kg de tuna; D= tratamiento dominado.

Análisis de sensibilidad para rendimiento medio

En el primer Escenario, el análisis de sensibilidad indicó que aún cuando los costos de producción se incrementaron en 40% y el precio de venta por kg de tuna se mantuvo en \$ 2.1, tanto el testigo (00N-00P-00K) como en el mejor tratamiento (90N-30P-30K) conservaron una relación beneficio-costo positiva pero relativamente menor a la observada con los costos de producción de 2012. La tasa de retorno marginal del mejor tratamiento (90N-30P-30K) se mantuvo positivo pero tuvo un decremento de 10% comparado con el obtenido en 2012 (Cuadro 3).

Unlike the published work by nopal, Gathaara *et al.* (1989), Karim *et al.* (1998) and Galizzi *et al.* (2004), the variety ‘Cristalina’ prickly pear responded positively to the annual addition of mineral fertilizer to the soil. The study showed that mineral fertilizers on this floor also have a cumulative effect, and therefore it is reflected and stabilized in subsequent years, which is backed by the determination coefficients observed in this study (Table 1). This pattern of response is characteristic of fruit trees such as apple (Nielsen *et al.*, 1999) or peach grown in soils with low fertility (Zegbe -Domínguez and Rumayor-Rodríguez, 1996).

En contraste, el escenario 2 consideró el mismo porcentaje de incremento en los costos de producción que en el escenario 1, pero con un precio de venta de \$ 3.86 por kg de tuna. Éste marco económico influyó positivamente la relación beneficio-costo tanto en el testigo (00N-00P-00K) como del mejor tratamiento (90N-30P-30K); sin embargo, este último tratamiento incrementó 212% con respecto al testigo. Similarmente, este escenario económico incrementó 89.4% la tasa de retorno marginal del mejor tratamiento con respecto al observado en el escenario 1 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de sensibilidad para el mejor tratamiento y para el testigo sin fertilización mineral.
Table 3. Sensitivity analysis for the best treatment and the untreated mineral fertilization.

Concepto	Año 2012		Escenario 1 [†]		Escenario 2 ^{††}	
	Testigo	90-30-30	Testigo	90-30-30	Testigo	90-30-30
Costo de fertilización (\$ ha ⁻¹)	0	904.6	1266.4	0	0	1266.44
Costo de producción (\$ ha ⁻¹)	3729.9	5119.5	5221.9	7167.3	5221.9	7167.3
Rendimiento medio (kg ha ⁻¹)	5700.0	20500.0	5700.0	20500.0	5700.0	20500.0
Beneficio bruto (\$ ha ⁻¹)	10500.0	37800.0	11970.0	43050.0	22002.0	79130.0
Beneficio neto (\$ ha ⁻¹)	6770.1	32680.5	6748.1	35882.7	16780.1	71962.7
Relación beneficio/costo	2.82	7.38	2.30	6.00	4.20	11.00
Tasa de retorno marginal (%)	—	1864.5	—	1497.5	—	2836.5

[†]Se consideró un incremento de 40% en el costo de producción, con respecto al costo de 2012 y un precio de venta de \$ 2.1 por kg de tuna. ^{††}Se consideró un incremento de 40% en el costo de producción con un precio de venta \$ 3.86 por kg de tuna.

Tasa de retorno marginal para rendimiento óptimo

Existe el conceso en que aplicación de NPK al suelo incrementa la productividad del nopal (Pimienta, 1986; Claassens y Wessels, 1997; Karim *et al.*, 1998). Sin embargo, el suelo del sitio donde se realizó este experimento tiene un alto contenido de K, que aunque no necesariamente todo está disponible, no influyó en el rendimiento de la fruta; lo cual, permitió la optimización del N y P. Así, el máximo rendimiento (27 t ha⁻¹) se obtuvo con la dosis 80 y 50 kg ha⁻¹ de N y P, respectivamente (Zegbe *et al.*, 2012). Lo anterior motivó un análisis económico adicional, el cual reveló que el óptimo económico coincidió con el rendimiento óptimo producido con la dosis 80 kg N ha⁻¹ y 50 kg P ha⁻¹, la cual alcanzó el mayor relación benéfico-costo, pero ésta redujo 57% el beneficio neto marginal y la tasa de retorno marginal en comparación con la dosis 30 kg N ha⁻¹ y 20 kg P ha⁻¹ (Cuadro 4).

Sin embargo, la recomendación para el uso de la dosis óptima económica no se basa únicamente en estos dos últimos indicadores económicos, ya que esto limitaría la obtención de mayores ganancias en términos de relación beneficio-costo (CIMMYT, 1988). Además, la tasa de

Economic analysis

Marginal rate of return for average yield

The economic analysis indicated that treatment of 5 (90N -30P -30K) 37% increased production costs compared with the control. However, this treatment improved net profit (377%) and the benefit/cost (248%) compared to the control treatment (00N -00P -00K) (Table 2). The study also revealed that the net benefit and benefit/cost ratio

were lower in the other treatments, i.e., lower or higher doses of 90N -30P -30K are not economically attractive for the production of tuna under irrigation. The latter was confirmed by the marginal rate of return, which indicated that for every dollar invested, a profit of \$ 55.84 (Table 2) were obtained.

Sensitivity analysis for average yield

In the first scenario, the sensitivity analysis indicated that even when production costs increased by 40% and selling price per kg of tuna remained at \$ 2.1, both the control (00N -00P -00K) and the best treatment (90N -30P -30K) retained a positive benefit-cost but relatively lower than that observed with production costs of 2012 relationship. The marginal rate of return of the best treatment (90N -30P -30K) remained positive but had a decrease of 10% compared with that obtained in 2012 (Table 3).

In contrast, stage 2 considered the same percentage increase in production costs in scenario 1, but with a retail price of \$ 3.86 per kg of tuna. This economic framework positively influenced cost-benefit both the control (00N -00P -00K) and the best treatment (90N -30P -30K) relationship, but

retorno marginal mínima considerada en este estudio fue de 100 %, que comparada con aquella generada por la dosis óptima económica, esta última es 281.9 veces mayor que la mínima (Cuadro 4). Finalmente, la dosis 90N-60P-00K produjo valores negativos en el beneficio neto marginal y la tasa de retorno marginal. Eso es indicativo de que a dosis mayores, a la óptima económica (80 kg N ha⁻¹ 50 kg P ha⁻¹), ya no se generarán mayores dividendos agronómicos ni económicos (CIMMYT, 1988; Campillo *et al.*, 2007).

this treatment increased 212% compared with the control. Similarly, the economic scenario increased 89.4% marginal rate of return relative to the best treatment observed in scenario 1 (Table 3).

Marginal rate of return for optimal yield

There is concessive that application of NPK to the soil increases the productivity of nopal (Pimienta, 1986; Claassens and Wessels, 1997; Karim *et al.*, 1998). However,

Cuadro 4. Análisis económico de la aplicación de fertilizantes minerales en el rendimiento óptimo de fruta de nopal tunero ‘Cristalina’ en 2006.

Table 4. Economic analysis of the application of mineral fertilizers in the optimal performance of prickly pear fruit ‘Cristalina’ in 2006.

Concepto	Tratamientos de fertilizantes minerales						
	00-00-00	10-10-0	30-20-00	50-30-00	60-40-00	80-50-00	90-60-00
Costo del fertilizantes (F) (\$ ha ⁻¹)	0	127.0	300.0	473.0	600.0	773.0	900.0
Costo de aplicación del F (\$ ha ⁻¹) [†]	0	450.0	450.0	450.0	450.0	450.0	450.0
Gasolina (\$ ha ⁻¹)	0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
Costos totales variables (\$ ha ⁻¹)	0	612.0	785.0	958.0	1085.0	1258.0	1385.0
Costo de producción (\$ ha ⁻¹)	3729.9	4341.9	4514.9	4687.9	4814.9	4987.9	5114.9
Rendimiento experimental (kg ha ⁻¹)	6130.27	11506.9	17630.5	22614.5	24401.3	27073.0	26442.7
Rendimiento ajustado (kg ha ⁻¹)	5517.2	10356.2	15867.4	20353.0	21961.2	24365.7	23798.4
Beneficio bruto (\$ ha ⁻¹) [§]	11586.2	21748.0	33321.6	42741.4	46118.5	51168.0	49976.7
Beneficio neto (\$ ha ⁻¹)	7856.3	17406.1	28806.7	38053.5	41303.6	46180.1	44861.8
Relación beneficio-costo	3.1	5.0	7.4	9.1	9.6	10.3	9.8
Beneficio neto marginal (\$)	–	9549.8	11400.6	9246.8	3250.1	4876.5	-1318.2D
Costo marginal variable (\$)	–	612.0	173.0	173.0	127.0	173.0	127.0
Tasa de retorno marginal (%)	–	1560.4	6589.9	5344.9	2559.1	2818.8	-1038.0

[†]Se requirieron \$ 450.0 para tres jornales en la aplicación de fertilizante; [§]se consideró \$2.1 por kg de tuna; D= tratamiento dominado.

Análisis de sensibilidad para rendimiento óptimo

En el primer escenario, el análisis de sensibilidad indicó que aún cuando los costos de producción se incrementaron en 40% y el precio de venta por kg de tuna se mantuvo en \$ 2.1, tanto el testigo (00N-00P) como la dosis óptima económica de fertilizante (80N-50P) conservaron una relación beneficio-costo positiva pero relativamente menor a la observada con los costos de producción de 2012. Aún cuando la tasa de retorno marginal de la dosis 80N y 50P se mantuvo positiva, ésta tuvo un drástico decremento (69.3%) con respecto al obtenido en 2012 (Cuadro 5).

En contraste, el escenario 2 consideró el mismo porcentaje en el incremento de los costos de producción que en el Escenario 1, pero con un precio de venta de \$ 3.86 por kg

the soil of the site where this experiment was performed has a high content of K, although not necessarily all available, did not influence the yield of the fruit, which, allowing optimization of N and P. Thus, the maximum yield (27 t ha⁻¹) was obtained with the dose 80 and 50 kg ha⁻¹ of N and P, respectively (Zegbe *et al.*, 2012). This prompted a further economic analysis, which revealed that the economic optimum coincided with the optimum performance produced dose 80 kg N ha⁻¹ and 50 kg P ha⁻¹, which reached the highest benefit-cost ratio but it reduced 57% the net marginal benefit and marginal rate of return compared to the dose 30 kg N ha⁻¹ and 20 kg P ha⁻¹ (Table 4).

However, the recommendation for the use of economic optimum dose is not based solely on the last two economic indicators, as this would limit earning higher profits in

de tuna. Este marco económico influyó positivamente la relación beneficio-costo tanto en el testigo como en la dosis 80N y 50P. De hecho, se estimó un incremento de 233% en este parámetro con la dosis óptima de fertilizante en relación al testigo. Similarmente, este escenario económico influyó positivamente en la tasa de retorno marginal con la dosis óptima de fertilizante, la cual incrementó 465% con respecto a la estimada en el escenario 1 (Cuadro 5). Los indicadores económicos aquí estudiados sugieren que la producción de tuna, sin y con fertilizante mineral, resulta ser un agro negocio financieramente rentable (Retes *et al.*, 2013).

terms of benefit-cost (CIMMYT, 1988) relationship. Furthermore, the minimum rate of return marginal consideration in this study was 100%, which compared with those generated by the optimal economic dose, the latter is 281.9 times the minimal (Table 4). Finally, the 90N -60P -00K dose produced negative values in the marginal net benefit and marginal rate of return. That is an indication that at higher doses, the economic optimum (80 kg N ha⁻¹ and 50 kg P ha⁻¹), higher agronomic and economic dividends (CIMMYT, 1988; Campillo *et al.*, 2007). Is no longer generated.

Cuadro 5. Análisis de sensibilidad para el tratamiento dominante y para el testigo sin fertilización mineral.
Table 5. Sensitivity analysis for key treatment and the untreated mineral fertilization.

	Año 2012		Escenario 1 [†]		Escenario 2 ^{††}	
	Testigo	80-50-00	Testigo	80-50-00	Testigo	80-50-00
Costo de fertilización (\$ ha ⁻¹)	0	773.0	0	1515.1	0	1082.2
Costo de producción (\$ ha ⁻¹)	3729.9	4987.9	5221.9	9776.3	5221.9	6983.1
Rendimiento medio (kg ha ⁻¹)	6130.3	27073.0	6130.3	27073.0	6130.3	27073.0
Beneficio bruto (\$ ha ⁻¹)	11586.2	51168.0	12873.6	56853.3	23662.8	104501.8
Beneficio neto (\$ ha ⁻¹)	7856.3	46180.1	7651.7	47077.0	18441.0	97518.7
Relación beneficio/costo	3.10	10.25	2.50	5.80	4.50	15.00
Tasa de retorno marginal (%)	–	2818.80	–	865.64	–	4489.99

[†]Se consideró un incremento de 40% en el costo de producción, con respecto al costo de 2012 y un precio de venta de \$ 2.1 por kg de tuna. ^{††}Se consideró un incremento de 40% en el costo de producción con un precio de venta \$ 3.86 por kg de tuna.

Conclusiones

Los indicadores económicos tales como beneficio neto, relación beneficio-costo y tasa de retorno marginal, fueron los más altos con la dosis de fertilización mineral 90, 30 y 30 kg ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente. El rendimiento (27 t ha⁻¹) se obtuvo con la dosis 80 y 50 kg ha⁻¹ de N y P, respectivamente. Este óptimo biológico coincidió con la mayor relación beneficio-costo. El análisis económico también generó información de otras alternativas de fertilización mineral que resultan en beneficios económicos en la producción de tuna ‘Cristalina’.

Literatura citada

- Barbera, G. 1984. Ricerche sull'irrigazione del ficodindia. Frutticoltura. 46:49-55.
- Basile, F. 2001. Economic aspects of Italian cactus pear production and market. J. Prof. Assoc. Cactus Dev. 4:31-46.

Sensitivity analysis for optimal yield

In the first scenario, the sensitivity analysis indicated that even when production costs increased by 40% and selling price per kg of tuna remained at \$ 2.1, both the control (00N -00P) as the optimum economic dose fertilizer (80N -50P) have retained a positive benefit-cost but relatively lower than that observed with production costs of 2012 relationship. Although the marginal rate of return of 80N and 50P dose remained positive, it had a dramatic decrease (69.3%) compared to that obtained in 2012 (Table 5).

In contrast, stage 2 considered the same percentage as the increase in production costs than in Scenario 1, but with a retail price of \$ 3.86 per kg of tuna. This economic framework positively influenced cost-benefit both the witness and the 80N and 50P dose relationship. In fact, an increase of 233% in this parameter with the optimum dose of fertilizer in relation to the control was estimated. Similarly, the economic environment positively influenced the marginal rate of return with the optimum dose of fertilizer, which increased

- Campillo, R. R.; Jobet, F. C. y Undurraga D. P. 2007. Optimización de la fertilización nitrogenada para trigo de alto potencial de rendimiento en Andisoles de la región de la Araucanía, Chile. *Agri. Téc.* 67(3):281-291.
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica. México, D. F. 79 p.
- Claassens, A. S. and Wessels, A. B. 1997. The fertilizer requirements of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) under summer rainfall conditions in South Africa. *Acta Hort.* 438:83-95.
- Felker, P. and Bunch, R. A. 2009. Mineral nutrition of cactus for forage and fruits. *Acta Hort.* 811:389-394.
- Fernández, M. M. R. y Mondragón J. C. 1998. La fertilización en nopal tunero. INIFAP-CIRCE-Campo Experimental Norte de Guanajuato. Desplegable para Productores Núm. 2. Celaya, Guanajuato, México.
- Financiera Rural. 2011. Monografía de nopal y tuna. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial Dirección Ejecutiva de Análisis Sectorial. 15 p. [http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/MonografiaNopal-Tuna\(jul11\).pdf](http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/MonografiaNopal-Tuna(jul11).pdf) (consultado marzo, 2013).
- Flores, V. C. A.; de Luna E. J. M. y Ramírez, M. P. P. 1995. Mercado mundial de la tuna. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria ASERCA. Universidad Autónoma Chapingo (UACH). 10 p.
- Galizzi, F. A.; Felker, P.; González, C. and Gardiner, D. 2004. Correlation between soil and cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality in cactus pear, *Opuntia ficus-indica*, in a traditional farm setting in Argentina. *J. Arid Environ.* 59(1):115-132.
- García de Cortázar, V. and Nobel, P. S. 1992. Biomass and fruit production for the prickly pear cactus, *Opuntia ficus-indica*. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(4):558-562.
- García, H. E. J.; Méndez, G. S. J.; Rössel, K. D.; Talavera, M. D. y Hernández, R. I. 2008. El nopal tunero en San Luis Potosí (situación actual y recomendaciones técnicas). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México. Folleto para productores Núm. 235 p.
- Gathaara, G. N.; Felker, P. and Land, M. 1989. Influence of nitrogen and phosphorus application on *Opuntia engelmannii* tissue N and P concentrations, biomass production and fruit yields. *J. Arid Environ.* 16:337-346.
- Guevara, J. C.; Suassuna, P. and Felker, P. 2009. *Opuntia* forage production system: status and prospectus for rangeland application. *Rangeland Ecol. Manage.* 62(5):428-434.
- Inglese, P. 1995. Orchard planting and management. In: Barbera, G.; Inglese, P. and Pimienta, B. E. (Eds.). *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*. FAO Plant Production and Protection. Paper 132. Rome, Italy. 78-91 pp.
- Inglese, P.; Barbera, G. and La Mantia, T. 1999. Seasonal reproductive and vegetative growth patterns and resource allocation during cactus pear fruit growth. *HortScience* 34(1):69-72.
- Iturriaga, L.; Quinzio, C.; Corvalan, M. and Mishima, B. 2009. Study of the stability at coalescence in mucilage emulsions. *Acta Hort.* 811:427-431.
- Karim, M. R.; Felker, P. and Bingham, R. L. 1998. Correlations between cactus pear (*Opuntia* spp.) cladode nutrient concentrations and fruit yield and quality. *Annal. Arid Zone.* 37(2):159-171.

465% over the estimated scenario 1 (Table 5). The economic indicators studied here suggest that the production of tuna, with and without mineral fertilizer, agro business proves to be a financially profitable (Retes *et al.*, 2013).

Conclusions

Economic indicators such as net profit, cost-benefit and marginal rate of return relationship, were the highest dose of mineral fertilization 90, 30 and 30 kg ha⁻¹ of N, P and K, respectively. The yield (27 t ha⁻¹) was obtained with the dose 80 and 50 kg ha⁻¹ of N and P, respectively. This biological optimum coincided with the highest benefit-cost ratio. The economic analysis also generated information of alternative mineral fertilization resulting in economic benefits in the production of tuna 'Cristalina'.

End of the English version



- Mondragón, J. C. 2001. Cactus pear domestication and breeding. *Plant Breed. Rev.* 20:135-166.
- Murray, P. G. 1999. El poder curativo del nopal. Selector Actualidad Editorial. México, D. F. 160 p.
- Neilsen, G. H., Neilsen, D. and Peryea, F. 1999. Response of soil and irrigated fruit trees to fertigation or broadcast application of nitrogen, phosphorus and potassium. *HortTechnol.* 9:393-401.
- Nefzaoui, A. and Ben Salem, H. 2002. Cacti: efficient tool for rangeland rehabilitation, drought mitigation and to combat desertification. *Acta Hort.* 581:295-315.
- Nerd, A.; Karady, A. and Mizrahi, Y. 1989. Irrigation, fertilization, and polyethylene covers influence bud development in prickly pear. *HortScience.* 24(5):773-775.
- Nerd, A.; Karady, A. and Mizrahi, Y. 1991. Out-of-season prickly pear: fruit characteristics and effect of fertilization and short drought on productivity. *HortScience.* 26(5):527-529.
- Nerd, A. and Mizrahi, Y. 1994. Effect of fertilization and organ removal on rebudding in *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *Scientia Hort.* 59(2):115-122.
- Ochoa, M. J. and Uhart, S. A. 2006. Nitrogen availability and fruit yield generation in cactus pear (*Opuntia ficus-indica*): III. Effects on fruit yield and dry matter allocation to reproductive sinks. *Acta Hort.* 728:131-136.
- Pichler, T.; Young, K. and Alcantar, N. 2012. Eliminating turbidity in drinking water using the mucilage of a common cactus. *Water Sci. Technol. Water Supply.* 12(2):179-186.
- Pimienta, B. E. 1986. Establecimiento y manejo de plantaciones de nopal tunero en Zacatecas. SARH-INIFAP-CIANOC-Campo Agrícola Experimental Zacatecas. 34 p.
- Pimienta, B. E. y Ramírez, H. B. C. 1999. Contribuciones al conocimiento agronómico y biológico de los nopales tuneros. *Agrociencia.* 33(3):323-331.

- Pimienta, B., E. 1990. El nopal tunero. Universidad de Guadalajara. 246 p.
- Potgieter, J. P. 2001. Guidelines for the cultivation of cactus pears for fruit production. 4th edition, Group 7 Trust Printers, Sinoville, South Africa. 16 p.
- Retes, L. R.; Moreno, M. S.; Denogean, B. F. G.; Martín, R. M. e Ibarra, F. F. 2013. Determinación de la rentabilidad de trigo en la costa de Hermosillo, Sonora. Rev. Mex. Agron. 32:348-357.
- Sáenz, Q. L. A. 1998. Guía para cultivar nopal tunero en Zacatecas. SAGAR-INIFAP-Campo Experimental Calera, Calera de V.R., Zacatecas, México. Folleto para productores Núm. 19. 24 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2013. Anuario estadístico de la producción agrícola. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351 (consultado marzo, 2013).
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. Plant physiology. 4th (Ed.). Sundeland, Massachusetts. 764 p.
- Zegbe-Domínguez, J. A. and Rumayor-Rodríguez, A. F. 1996. Respuesta del rendimiento del duraznero [*Prunus persica* (L.) Batsch] criollo mexicano a la maleza y fertilización con NPK. Info. Téc. Eco. Agr. 92:171-187.
- Zegbe, J. A. y Mena, C. J. 2008. Retraso de la cosecha en nopal tunero cv. Cristalina. Rev. Chapingo s. Hort. 14(1):85-90.
- Zegbe, J. A. y Mena-Covarrubias, J. 2009. Flower bud thinning in 'Rojo Liso' cactus pear. J. Hort. Sci. Biotechnol. 84(6):595-598.
- Zegbe, J. A.; Mena-Covarrubias, J.; Serna-Pérez, A. 2012. La fertilización mineral mejora el rendimiento y tamaño de la tuna variedad 'Cristalina'. Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Universidad Autónoma de Zacatecas. Del 11 al 16 de noviembre, Zacatecas, Zacatecas, México. 277-282 pp.