

Optimización económica de N, P, K y densidades de plantación en maíz y frijol intercalados*

Economic optimization of N, P, K and planting densities in corn and bean intercropping

Rocio Albino Garduño^{1§}, Antonio Turrent Fernández², José Isabel Cortés Flores³, Adrián González Estrada², Ma. del Carmen Mendoza Castillo⁴, Victor Hugo Volke Haller³ y Horacio Santiago Mejía¹

¹Universidad Intercultural del Estado de México. Libramiento Francisco Villa S. N. San Felipe del Progreso, Estado de México. C. P. 50640. Tel: 01 712 123 59 63 Ext. 118. (horaciosm@colpos.mx). ²Campo Experimental Valle de México-INIFAP. Carretera los Reyes- Texcoco, km13.5, Coatlínchán, Texcoco, Estado de México, C. P. 56250. (aturrent37@yahoo.com.mx; gonzalez.adrian@inifap.gob.mx). ³Edafología y ⁴Genética- Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. C. P. 56230. Carretera México-Texcoco km 36.5 Montecillo, Estado de México. (jicortes@colpos.mx; vvolke@colpos.mx; camen@colpos.mx). [§]Autora para correspondencia: albino.rocio@colpos.mx.

Resumen

El objetivo fue determinar la mejor dosis de fertilizante y densidad de plantación (D) para el cultivo de maíz 'H-155' y frijol negro arbustivo '8025' en tres arreglos topológicos (AT). El criterio de selección fue la mayor ganancia, eficiencia relativa de la tierra (ERT) y eficiencia relativa de la ganancia (ERG). Se estableció un experimento de parcelas divididas en el Campo Experimental Valle de México, en el año 2012. Las parcelas grandes fueron tres AT de maíz y frijol: 1) cultivo simple de maíz y frijol (CSMF), 2) intercalados en dos surcos alternos (MMFF), y 3) intercalados en un surco alterno (MFMF). La parcela chica constó de 25 tratamientos de un diseño central compuesto rotatable con 5 niveles de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y D. Se determinó el rendimiento de grano (Y_m) y rastrojo (Y_r) de maíz y el rendimiento del grano de frijol (Y_f). La mayor ganancia (\$33 942) se obtuvo en MMFF con la combinación 34-0-40 kg de N-P-K y 29 500 plantas en 0.5 ha de maíz y 11-0-30 kg de N-P-K y 80 000 plantas en 0.5 ha de frijol. En MMFF la máxima ERT fue 1.29 y ERG fue 2.01. La mayor ERT en MFMF fue 1.27 con una ERG de 1.58, ambas asociadas a un nivel alto de Y_m de 7.09 t 0.5 ha⁻¹.

Palabras clave: *Zea mays* L., *Phaseolus vulgaris* L., diseño compuesto central rotatable e ingresos netos.

Abstract

The objective was to determine the best dose of fertilizer and planting density (D) for the cultivation of corn 'H-155' and black bean shrub '8025' three topological arrangements (AT). The selection criterion was the biggest gain, relative efficiency of land (ERT) and relative efficiency of gain (ERG). An experiment is established in split plot in the Valley of Mexico Experimental Station, in 2012. There were three large plots of corn and beans AT: 1) Simple corn and beans (CSMF); 2) intercalated in two alternating rows (MMFF); and 3) interspersed in an alternating groove (MFMF). The small plot consisted of 25 treatments of a rotatable central composite design with 5 levels of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K) and D. The grain yield (Y_m) and stover (Y_r) was determined corn and bean grain yield (Y_f). The greatest gain (\$33 942) was obtained MMFF with the combination 34-0-40 kg of N-P-K and 29 500 plants in 0.5 ha corn and 11-0-30 kg of N-P-K and 80 000 plants 0.5 has of bean. In MMFF maximum ERT was 1.29 and ERG was 2.01. Most ESRD in MFMF was 1.27 with a 1.58 ERG, both associated with a high level of Y_m 7.09 0.5 t ha⁻¹.

Keywords: *Zea mays* L., *Phaseolus vulgaris* L., central composite design rotatory and net income.

* Recibido: enero de 2016
Aceptado: abril de 2016

Introducción

El cultivo de maíz y frijol intercalados tiene varios objetivos entre ellos el uso eficiente de los recursos importantes como el agua, la luz y los nutrimentos, en términos económicos y agronómicos. Se ha reportado la complementariedad entre el maíz y frijol, pues hacen un mejor uso de los recursos cuando están intercalados que como cultivos simples (Willey, 1990; Johanne y Lynch, 2012), lo cual se refleja en un mayor rendimiento (Li *et al.*, 2001; Malézieux *et al.*, 2009), al mismo nivel de insumos, y se atribuye al arreglo topológico del cultivo.

El sistema milpa intercalada con árboles frutales, ha sido diseñado para favorecer la seguridad alimentaria, el ingreso, el empleo familiar y el ambiente. En este sistema, el maíz, algunas leguminosas y los frutales están intercalados en franjas. El sistema responde a las necesidades de las pequeñas unidades de producción (generalmente de 2 a 2.5 hectáreas divididas en varios predios), con alto grado de marginación económica y social. En estas condiciones y con un manejo tradicional, se producen los alimentos básicos maíz y frijol con rendimientos insuficientes para satisfacer las necesidades de alimento y de ingreso familiar.

En la producción de cultivos, la semilla, la variedad y los fertilizantes están considerados entre los insumos más importantes, ya que constituyen una proporción significativa de los costos de producción (Volke, 1982). El método econométrico clásico para establecer la dosis óptima económica en estudios de fertilidad de suelos puede resumirse en los siguientes pasos: 1) diseñar y establecer experimentos factoriales con diversas fórmulas de fertilización y diseño de tratamientos a juicio del investigador; 2) se asume que las deficiencias nutrimentales se reflejarán en los rendimientos observados y se aproxima el rendimiento en términos de una función de los niveles de los insumos, que muestre tanto como sea posible la ley de rendimientos decrecientes; y 3) se obtiene la dosis de nutrimentos que producen al agricultor el máximo ingreso neto por hectárea (Martínez y Martínez, 1996; Barrios-Ayala *et al.*, 2003; Volke *et al.*, 2005; Barrios *et al.*, 2008).

La eficiencia relativa de la tierra (ERT) es la medida más utilizada para comparar la productividad de los cultivos intercalados (Vandermeer, 1989; Rezaei-Chianeh *et al.*, 2011) en condiciones de limitaciones de tierra de labor. La ERT representa el área requerida de monocultivo para obtener el rendimiento del policultivo al mismo nivel de

Introduction

The corn and bean intercropping has several objectives including the efficient use of important resources such as water, light and nutrients, in economic and agronomic terms. It has been reported complementarity between maize and beans because they make better use of resources when they are interleaved than simple crops (Willey, 1990; Johanne and Lynch, 2012), which is reflected in higher performance (Li *et al.*, 2001; Malezieux *et al.*, 2009), the same level of inputs, and is attributed to topological arrangement of the crop.

The milpa system intercropped with fruit trees has been designed to promote food security, income, employment and family environment. In this system, corn, some legumes and fruit are interleaved in stripes. The system responds to the needs of small production units (usually 2 to 2.5 hectares divided into several properties), high degree of economic and social marginalization. Under these conditions and with a traditional management, staples maize and beans are produced with insufficient income to meet the needs of food and household income.

In crop production, seed, variety and fertilizers are considered among the most important inputs, as they constitute a significant proportion of production costs (Volke, 1982). The classic econometric method to establish the optimum economic dose soil fertility studies can be summarized as follows: 1) design and establish factorial experiments with various forms of fertilization and treatment design according to the investigator; 2) it is assumed that nutritional deficiencies are reflected in the observed yields and performance approaches in terms of a function of input levels, showing as much as possible the law of diminishing returns and 3) the dose of nutrients is obtained that produce the farmer the maximum net income per hectare (Martínez and Martínez, 1996; Barrios-Ayala *et al.*, 2003; Volke *et al.*, 2005; Barrios *et al.*, 2008).

The relative efficiency of land (ERT) is the most commonly used measure to compare the productivity of intercropping (Vandermeer, 1989; Rezaei-Chianeh *et al.*, 2011) under arable land constraints. The ERT monoculture represents the area required for the performance of polyculture at the same level of inputs (Vandermeer, 1989). In a variation of the formula of ERT may include net income to integrate economic and biological factor in the equation relative efficiency of the ERG gain.

insumos (Vandermeer, 1989). En una variación de la fórmula de ERT se pueden incluir los ingresos netos para integrar el factor económico y biológico en la ecuación de eficiencia relativa de la ganancia ERG.

El objetivo de esta investigación fue determinar la mejor combinación de N, P y K y densidad de plantación para el cultivo de maíz 'H-155' y frijol negro arbustivo '8025' en diferentes arreglos topológicos, definida en términos de la ganancia o del ingreso neto, la eficiencia relativa de la tierra y la eficiencia relativa de ingresos totales. El supuesto era que por efecto del arreglo topológico sin aumento significativo de las dosis de N, P y K, densidad de plantación y costos, el maíz y frijol arbustivo intercalados incrementan el rendimiento y ganancias comparados con los propios de monocultivos al mismo nivel de insumos.

Materiales y métodos

En el ciclo primavera-verano (10 de abril-17 de noviembre, 2012) se condujo un experimento en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) "El Horno", del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El sitio, con suelo fluvisol háplico, (19° 29' latitud norte, 98° 53' longitud oeste) tiene una elevación de 2 280 msnm. El promedio de temperatura durante el ciclo de cultivo fue de 19.5 °C y la precipitación de 315 mm.

Se manejó un diseño experimental de parcelas divididas con tres tratamientos de parcela grande y 25 tratamientos de parcela chica, con una repetición. La parcela grande correspondió al arreglo topológico de maíz blanco 'H-155' y frijol negro '8025' en: A) cultivo simple de maíz y de frijol (CSMF); B) dos surcos de maíz alternados con dos de frijol (MMFF); y C) un surco de maíz alternado con uno de frijol (MFMF) (Figura 1).

En cada arreglo topológico se evaluaron los factores nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y densidad de plantación (D). El espacio de exploración varió de 30 a 150 y 0 a 50 kg N; 0 a 60 y 0 a 50 kg P₂O₅; 0 a 40 y 0 a 30 kg K₂O; y 31.5 a 43.5 y 60 a 120 mil plantas en 0.5 ha de maíz y frijol, respectivamente. La combinación de estos factores dieron lugar a los 25 tratamientos de parcela chica de acuerdo a un diseño compuesto central rotatable (Cuadro 1). Este diseño tuvo como base un diseño factorial 2⁴ (dos niveles de los factores: N, P, K y D en el que los niveles de cada variable se codificaron

The objective of this research was to determine the best combination of N, P, K and planting density for growing corn 'H-155' and black bean shrub '8025' in different topological arrangements, defined in terms of profit or net income, the relative efficiency of land and the relative efficiency of total income. The assumption was that the effect of the topological arrangement without significantly increasing doses of N, P and K, planting density and cost, corn and shrubs interspersed bean increase performance and profits compared with those of monocultures at the same level of inputs.

Materials and methods

In the spring-summer (april 10-november 17, 2012) an experiment was conducted in the Valley Experimental Field of Mexico (CEVAMEX) "El Horno", the National Institute of Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP). The site, with fluvisol haplic floor (19° 29' north latitude, 98° 53' west longitude) has an elevation of 2 280 msnm. The average temperature during the growing season was 19.5 °C and precipitation of 315 mm.

An experimental design with three treatments divided large plot and 25 small plot treatments, with a repeat parcels handled. The large plot corresponded to the topological arrangement of white 'H-155' and black bean '8025' in: A) simple culture of corn and bean (CSMF); B) two rows of corn alternating with two bean (MMFF); and C) a groove corn alternating with one bean (MFMF) (Figure 1).

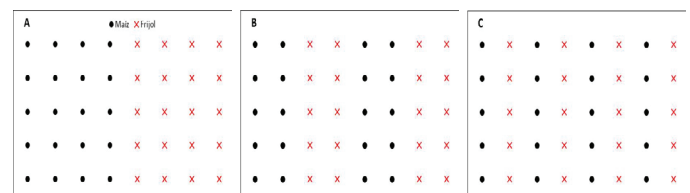


Figura 1. Arreglos topológicos evaluados como parcela grande: A) cultivo simple de maíz y frijol (CSMF); B) dos surcos de maíz alternados con dos de frijol (MMFF); y C) un surco de maíz alternado con uno de frijol (MFMF).

Figure 1. Topological arrangements large plot evaluated as: A) simple culture maize and beans (CSMF); B) two rows of corn alternating with two bean (MMFF); and C) a row of maize alternating with one bean (MFMF).

In each topological arrangement were evaluated the nitrogen factors (N), phosphorus (P), potassium (K) and plant density (D). Space exploration ranged from 30 to 150 and 0 to 50 kg

como -1 y +1, aumentados por 8 puntos axiales codificados como -2 y +2, además de un punto central codificado como 0 (Barrios-Ayala *et al.*, 2003; Volke *et al.*, 2005). Así, el número de tratamientos de parcela chica según el diseño compuesto central rotatable correspondió a la fórmula 2^k+2k+n ; es decir, $2^4+2(4)+1=25$ tratamientos, distribuidos al azar en los tres arreglos topológicos (75 tratamientos totales). Los tratamientos de parcela chica estuvieron perfectamente alineados en campo. Cada tratamiento de parcela chica constó de cuatro surcos de 0.8 m de ancho por 2.12 m, con los dos surcos centrales como parcela útil.

N; 0 to 60 and 0 to 50 kg P_2O_5 ; 0 to 40 and 0 to 30 kg K_2O ; and 31.5 to 43.5 and 60 to 120 plants in 0.5 ha of maize and beans, respectively. The combination of these factors resulted in 25 small plot treatments according to a central composite design rotatory (Table 1). This design was based on a factorial design 2^4 (two levels of factors: N, P, K and D in which the levels of each variable were coded as -1 and +1 increased by eight axial points coded as -2 and +2, and a center point coded as 0 (Barrios-Ayala *et al.*, 2003; Volke *et al.*, 2005). Thus, the number of treatments small plot by the central composite design rotatory corresponded to the

Cuadro 1. Lista de tratamientos de parcela chica probados en los arreglos topológicos CSMF, MMFF y MFME.
Table 1. List of treatments of small plot tested in topological arrangements CSMF, MMFF and MFME.

Tratamiento	Maíz				Frijol			
	N (kg 0.5 ha ⁻¹)	P ₂ O ₅	K ₂ O	D (pl 0.5 ha ⁻¹)	N (kg 0.5 ha ⁻¹)	P ₂ O ₅	K ₂ O	D (pl 0.5 ha ⁻¹)
1	60	15	10	34 500	12.5	12.5	7.5	75 000
2	60	15	10	40 500	12.5	12.5	7.5	105 000
3	60	15	30	34 500	12.5	12.5	22.5	75 000
4	60	15	30	40 500	12.5	12.5	22.5	105 000
5	60	45	10	34 500	12.5	37.5	7.5	75 000
6	60	45	10	40 500	12.5	37.5	7.5	105 000
7	60	45	30	34 500	12.5	37.5	22.5	75 000
8	60	45	30	40 500	12.5	37.5	22.5	105 000
9	120	15	10	34 500	37.5	12.5	7.5	75 000
10	120	15	10	40 500	37.5	12.5	7.5	105 000
11	120	15	30	34 500	37.5	12.5	22.5	75 000
12	120	15	30	40 500	37.5	12.5	22.5	105 000
13	120	45	10	34 500	37.5	37.5	7.5	75 000
14	120	45	10	40 500	37.5	37.5	7.5	105 000
15	120	45	30	34 500	37.5	37.5	22.5	75 000
16	120	45	30	40 500	37.5	37.5	22.5	105 000
17	30	30	20	37 500	0	25	15	90 000
18	150	30	20	37 500	50	25	15	90 000
19	90	0	20	37 500	25	0	15	90 000
20	90	60	20	37 500	25	50	15	90 000
21	90	30	0	37 500	25	25	0	90 000
22	90	30	40	37 500	25	25	30	90 000
23	90	30	20	31 500	25	25	15	60 000
24	90	30	20	43 500	25	25	15	120 000
25	90	30	20	37 500	25	25	15	90 000

Nota: los fertilizantes utilizados fueron urea (46 % N), superfosfato de calcio triple (46% P_2O_5), y cloruro de potasio (60% K_2O).

La siembra fue manual y en ella se aplicó todo el P, K y un tercio del N al maíz y todos los tres elementos al frijol; los dos tercios restantes de N se aplicaron al maíz en la primera escarda.

El experimento se mantuvo sin restricción de humedad, mediante riego por surcos y el deshierbe fue manual. La cosecha del frijol fue 125 días después de la siembra; las plantas de cada unidad experimental se extrajeron completas de la parcela, se secaron a la sombra, se desvainaron y se registró el peso del grano limpio de rastrojo. A partir de este dato se estimó el rendimiento del grano en 0.5 ha (Y_f).

El maíz se cosechó a los 221 días después de la siembra. Todas las mazorcas de cada parcela útil fueron cosechadas, pesadas y desgranadas. La humedad del grano al momento de la cosecha se determinó con un medidor portátil John Deere (SW 16060®, Ill. EEUU). El rendimiento de grano Y_m , con 14% de humedad, se estimó para 0.5 ha, superficie ocupada por el maíz en los arreglos topológicos. El rastrojo del maíz fue cortado y pesado al día siguiente de la cosecha del maíz. La humedad del rastrojo se determinó por el método gravimétrico y fue considerada para calcular el rendimiento del rastrojo (Y_r) en 0.5 ha al 14% de humedad.

Con los datos de Y_m , Y_r y Y_f observados de cada tratamiento se calculó la eficiencia relativa de la tierra (ERT) (Vandermeer, 1989) y la eficiencia relativa de la ganancia (ERG), con las siguientes ecuaciones:

$$ERT = \frac{Y_{\text{frijol intercalado}}}{Y_{\text{frijol monocultivo}}} + \frac{Y_{\text{maíz intercalado}}}{Y_{\text{maíz monocultivo}}}$$

$$ERG = \frac{IN_{\text{maíz intercalado}}}{IN_{\text{maíz cultivo simple}}} + \frac{IN_{\text{frijol intercalado}}}{IN_{\text{frijol cultivo simple}}}$$

Donde: la ganancia o el ingreso neto (IN); correspondió al ingreso total (IT); menos el costo total (CT), según la relación $IN = IT - CT$. El IT de cada especie se obtuvo al multiplicar los rendimientos de rastrojo y grano de maíz por sus respectivos precios en el punto de venta, lo mismo para el grano de frijol. El CT fue la suma del costo variable (CV) más el costo fijo (CF). El CV de cada tratamiento correspondió a la suma de las cantidades de N, P, K y D utilizado multiplicado por su respectivo precio (Volke, 1982). La lista de precios considerados en el cálculo se presenta en el Cuadro 2.

formula $2^k + 2k + n$; i.e, $2^4 + 2 \cdot 4 + 1 = 25$ treatments, randomly distributed the three topological arrangements (75 total treatments). The treatments were perfectly aligned small plot field. Each treatment of small plot consisted of four rows of 0.8 m wide by 2.12 m, with the two center rows as useful plot.

Sowing was manual and on it all the P, K and a third of the N corn and all three elements applied to beans; the remaining two thirds of N were applied to the first hoeing corn.

The experiment was maintained without restriction moisture by furrow irrigation and weeding was manual. Bean harvest was 125 days after planting; plants of each experimental unit were removed entire plot, dried in the shade, is peel and weight of the clean grain stubble was recorded. From this data was estimated the grain yield in 0.5 ha (Y_f).

The corn was harvested at 221 days after sowing. All ears of each useful plot were harvested, weighed and shelled. Grain moisture at harvest time was determined with a John Deere portable meter (SW 16060®, Ill. EEUU). The grain yield Y_m with 14% humidity, was estimated to 0.5 ha, occupied by corn on topological surface arrangements. The corn stover was cut and weighed the day after the corn harvest. Stubble moisture was determined by gravimetric method and was considered to calculate the yield of stover (Y_r) in 0.5 ha at 14% moisture.

With data Y_m , Y_r and Y_f observed each treatment was calculated the relative efficiency of land (ERT) (Vandermeer, 1989) and the relative efficiency of the gain (ERG), with the following equations:

$$ERT = \frac{Y_{\text{bean intercropping}}}{Y_{\text{bean monoculture}}} + \frac{Y_{\text{maize intercropping}}}{Y_{\text{maize monoculture}}}$$

$$ERG = \frac{IN_{\text{maize intercropping}}}{IN_{\text{maize simple crops}}} + \frac{IN_{\text{bean intercropping}}}{IN_{\text{bean simple crops}}}$$

Where: profit or net income (IN); corresponded to total income (IT); minus total cost (CT), according to relationship $IN = IT - CT$. The IT of each species was obtained by multiplying the yields of corn stover and grain for their respective prices at the point of sale, ditto for the grain of beans. The CT was the sum of the variable cost (CV) plus the fixed costs (CF). The CV of each treatment was the sum of the quantities of N, P, K and D multiplied by its respective price (Volke, 1982). The price list considered in the calculation is presented in Table 2.

Cuadro 2. Lista de precios, del año 2012, considerados en el cálculo de la dosis óptima económica.
Table 2. Price list, in 2012, considered in the calculation of the optimum economic dose.

	Concepto	Precio (\$)
Costos fijos	Renta de la tierra, seguro agrícola (12%), barbecho, rastra, surcado, jornales para riego, cuota de agua, deshierbe, cosecha maíz y corte frijol	6260.00 ha ⁻¹
Costos variables	N	18.39 kg N ⁻¹
	P	23.75 kg P ⁻¹
	K	14.71 kg K ⁻¹
	Precio de la unidad de incluyendo transporte, aplicación manual, interés por el crédito bancario 12% para el ciclo agrícola	
	Costo de mil plantas maíz-frijol. Costos de siembra	24.45 mil plantas ⁻¹
Precios de venta	Precio rastrojo empacado y transportado al punto de venta	796.00 t ⁻¹
	Precio del grano de maíz desgranado y transportado al punto de venta	3742.06 t ⁻¹
	Precio del grano de frijol desvainado y transportado al punto de venta	11444.90 t ⁻¹

Fuente: Volke (1982); FIRA (2012); INIFAP (2012); SE (2012), información de productores locales.

Utilizando el programa SAS® (SAS Institute, 2005), se ajustaron los modelos de regresión para las variables dependientes: IN, Y_m, Y_r y Y_f. El modelo general de las ecuaciones fue:

$$\text{Variables dependientes} = \mu + a_1 + a_2 + N + P + K + D + NP + NK + ND + PK + PD + KD + N^2 + P^2 + K^2 + D^2 + a_1N + a_1P + a_1K + a_1D + a_1NP + a_1NK + a_1ND + a_1PK + a_1PD + a_1KD + a_1N^2 + a_1P^2 + a_1K^2 + a_1D^2 + a_2N + a_2P + a_2K + a_2D + a_2NP + a_2NK + a_2ND + a_2PK + a_2PD + a_2KD + a_2N^2 + a_2P^2 + a_2K^2 + a_2D^2 + e$$

Los arreglos topológicos se incluyeron como variables auxiliares (dummy) que para el caso de tres arreglos topológicos tomaron los valores de: a₁= 0 y a₂= 0 para el arreglo CSMF, a₁= 1 y a₂= 0 para MMFF y a₁= 0 y a₂= 1 para MFMF. La respuesta de los arreglos topológicos fue la suma algebraica de los términos sin alguna “a”, más los términos homólogos que correspondían al efecto de los factores de manejo; esto es, que todos los términos con “a” en las ecuaciones son diferencias de respuesta entre arreglos topológicos (Barrios *et al.*, 2003; Barrios *et al.*, 2008). Los factores fueron codificados en sus cinco niveles, igualmente espaciados, como:

$$n = \frac{(N-115)}{42.5}, p = \frac{(P-55)}{27.5}, k = \frac{(k-35)}{17.5} \text{ y } d = \frac{(D-127.5)}{18}$$

El procedimiento de regresión (backward sls= 0.2) incluyó a los factores significativos (p< 0.05) en cada variable dependiente. Con la ecuación resultante de IN se hizo un

Using SAS program (SAS Institute, 2005), the regression models for the dependent variables were adjusted: IN, Y_m, Y_r and Y_f. The general model equations was:

$$\text{Dependent variable} = \mu + a_1 + a_2 + N + P + K + D + NP + NK + ND + PK + PD + KD + N^2 + P^2 + K^2 + D^2 + a_1N + a_1P + a_1K + a_1D + a_1NP + a_1NK + a_1ND + a_1PK + a_1PD + a_1KD + a_1N^2 + a_1P^2 + a_1K^2 + a_1D^2 + a_2N + a_2P + a_2K + a_2D + a_2NP + a_2NK + a_2ND + a_2PK + a_2PD + a_2KD + a_2N^2 + a_2P^2 + a_2K^2 + a_2D^2 + e$$

Topological arrangements were included as auxiliary variables (dummy) that in the case of three topological arrangements took values of: a₁=0 and a₂=0 for settlement CSMF, a₁=1 and a₂=0 for MMFF and a₁=0 and a₂=1 for MFMF. The response of topological arrangements was the algebraic sum of terms without "a" plus counterparts terms corresponding to the effect of management factors; that is, that all terms with "a" in the equations are differences in response between topological arrangements (Barrios *et al.*, 2003; Barrios *et al.*, 2008). The factors were coded into five levels, equally spaced, as:

$$n = \frac{(N-115)}{42.5}, p = \frac{(P-55)}{27.5}, k = \frac{(k-35)}{17.5} \text{ and } d = \frac{(D-127.5)}{18}$$

The regression procedure (backward sls= 0.2) included significant factors (p< 0.05) for each dependent variable. With IN equation resulting from an optimization program in SAS® which showed the maximum net income (NI) or gain with its combination of N, P, K and D of each topological arrangement it was made.

programa de optimización en SAS® que mostró el máximo ingreso neto (IN) o ganancia con su combinación de N, P, K y D de cada arreglo topológico.

Una vez conocido el nivel de factores que maximizó la ganancia en los tres arreglos topológicos se consideró la dosis óptima económica (DOE) de los cultivos simples de maíz y frijol para comparar con los otros arreglos al mismo nivel de insumos. Para esto se sustituyeron los niveles de insumos de esta DOE en las ecuaciones de regresión para conocer el efecto del arreglo topológico en \hat{Y}_m , \hat{Y}_r , \hat{Y}_f .

Resultados y discusión

Con la ecuación del ingreso neto estimado (\hat{IN}) (Cuadro 3) se obtuvo la DOE que maximizó la ganancia de cada arreglo topológico. La mayor ganancia fue de \$33 942 y se logró con el arreglo topológico intercalado MMFF con la combinación por hectárea de 34-0-40 kg de N-P-K y 29.5 mil plantas de maíz y 11-0-30 kg de N-P-K y 80 mil plantas de frijol (Cuadro 4), toda vez que con este arreglo se necesitó menos N, lo cual de acuerdo con Lithourgidis *et al.* (2011) es un aspecto ambientalmente importante en los sistemas intercalados, pues implica el menor uso de insumos y costos de producción. Esta DOE en el sistema MMFF es apropiada para el caso de un productor que tenga satisfechos los requerimientos de maíz y frijol de la dieta familiar y esté interesado en el máximo ingreso neto.

Once known the level of factors that maximized the gain in the three topological arrangements optimum economic dose (DOE) simple crops of corn and beans to compare with other arrangements at the same level of input was considered. For this input levels of the DOE they were replaced in the regression equations to determine the effect of the topological arrangement \hat{Y}_m , \hat{Y}_r , \hat{Y}_f .

Results and discussion

With the equation of estimated net income (\hat{IN}) (Table 3) the DOE that maximized the gain of each topological arrangement was obtained. The biggest gain was \$33 942 and was achieved with the topological arrangement interleaved with the combination MMFF per hectare of 34-0-40 kg of NPK and 29 500 maize plants and 11-0-30 kg of NPK and 80 000 plants beans (Table 4), since this arrangement is needed less N, which according to Lithourgidis *et al.* (2011) is an environmentally important aspect intercropping systems because it involves less use of inputs and production costs. This "DOE" in the MMFF system is suitable for the case of a producer who has satisfied the requirements of maize and beans from the family diet and is interested in the maximum net income.

Coding for the five levels of the study factors:

$$n = \frac{(N-115)}{42.5}, p = \frac{(P-55)}{27.5}, k = \frac{(k-35)}{17.5} \text{ and } d = \frac{(D-127.5)}{18}.$$

Cuadro 3. Ecuaciones de regresión del ingreso neto, rendimiento de grano y de rastrojo de maíz y grano de frijol.
Table 3. Regression equations of net income, grain yield and corn stover and bean grain.

Variable	Ecuación de regresión	R ²
$\hat{IN} =$	$23381 + 4858.8019a_2 + 887.3316k - 993.5592n^2 + 1569.4156d^2 + 1590.327a_1np + 1722.9694a_1n^2 - 1286.7531a_2k^2 - 2136.6628a_2d^2$	0.49
$\hat{Y}_m =$	$4.8456 + 0.3685n + 0.1441p^2 + 0.6437a_1 + 0.3592a_1n + 0.4240a_1np - 0.3831a_1p^2 + 1.1548a_2 + 0.2959a_2n - 0.2817a_2k + 0.4324a_2pd$	0.48
$\hat{Y}_r =$	$5.6934 + 0.1214n - 0.1231n^2 + 0.4701a_1 + 0.2280a_1d + 0.1897a_1np + 0.1826a_1pd + 0.8687a_2$	0.48
$\hat{Y}_f =$	$1.0897 + 0.0472n + 0.0457k + 0.1352d + 0.1056d^2 + 0.1004a_1 - 0.0791a_1d - 0.1686a_2 - 0.1173a_2d$	0.51

Cuadro 4. Optimización de N, P, K y densidad de plantación en tres arreglos topológicos de maíz y frijol arbustivo, basada en la mayor ganancia.

Table 4. Optimization N, P, K and planting density in three topological arrangements corn and bush beans, based on the most profit.

Arreglo topológico		Dosis óptima económica					Max IN (\$ ha ⁻¹)
		N	P ₂ O ₅ kg 0.5 ha ⁻¹	K ₂ O	D pl 0.5 ha ⁻¹	ÎN (\$ ha ⁻¹)	
CSMF	Maíz	86	0	23	33.5	28 895	28 895
	Frijol	24	0	17	62.0		
	Total ha ⁻¹	110	0	40	94.5		
MMFF	Maíz	34	0	40	29.5	33 42	33 942
	Frijol	11	0	30	80.0		
	Total ha ⁻¹	45	0	70	109.5		
MFMF	Maíz	90	0	34	35.0	31 491	30 472
	Frijol	25	0	26	83.5		
	Total ha ⁻¹	115	0	60	118.5		

ÎN= ingreso neto estimado. CSMF cultivo simple de maíz y de frijol; MMFF= dos surcos de maíz alternados con dos de frijol; y MFMF= un surco de maíz alternado con uno de frijol. Max IN= máximo IN del arreglo topológico.

Codificación para los cinco niveles de los factores de estudio:

$$n = \frac{(N-115)}{42.5}, p = \frac{(P-55)}{27.5}, k = \frac{(K-35)}{17.5} \text{ y } d = \frac{(D-127.5)}{18}.$$

a₁= codificación de MMFF y a₂= MFMF como variables dummy (mudas) que pueden asumir el valor de 0 o 1 para conocer su efecto en la variable de respuesta. ÎN= ingreso neto estimado. Ŷ_m, Ŷ_r y Ŷ_f= rendimientos estimados de grano de maíz, rastrojo de maíz y grano de frijol, respectivamente.

La DOE estimada de la ecuación de IN mostró que no se requiere del P, en ningún arreglo topológico, para alcanzar el máximo ingreso, esto puede deberse a que el suelo del sitio experimental ha estado recibiendo dosis altas y constantes de fertilizantes en los últimos 20 años, dejando un posible reservorio nutrimental al menos de P. El arreglo MMFF proporcionó \$5 046.00 más ganancia y el arreglo MFMF \$2 595.00 más que el CSMF. Estas DOE para los arreglos MMFF y MFMF son útiles para productores que deciden adoptar la tecnología basados en los ingresos generados (Seran y Brintha, 2010).

Vandermeer (1989) indica que las comparaciones entre los arreglos topológicos deben hacerse al mismo nivel de insumos; así, en el presente estudio al contrastar las ganancias

a₁= coding MMFF and a₂= MFMF as dummy variables (dummy) that can take the value 0 or 1 for its effect on the response variable. ÎN= net income estimate. Ŷ_m, Ŷ_r and Ŷ_f= estimated corn grain, corn stover and grain bean yields respectively.

The DOE estimated equation IN showed that is not required of P, in any topological arrangement, to achieve maximum income, this may be because the soil of the experimental site has been getting high and constant doses of fertilizers in the last 20 years, leaving a possible nutrient reservoir at least P. The MMFF arrangement provided \$5 046.00 more profit and arrangement MFMF \$2 595.00 more than the CSMF. These DOE for MMFF and MFMF arrangements are useful for producers who decide to adopt technology based on revenues generated (Seran and Brintha, 2010).

Vandermeer (1989) indicates that comparisons between topological arrangements must be made at the same level of inputs; thus, in the present study by contrasting earnings intercalated in these conditions system were obtained Ŷ_m, Ŷ_r and Ŷ_f, with their respective regression equations (Tables 3 and 5). Under these conditions it was also observed that the greatest gain was obtained with the arrangement MMFF (\$29 293.00 ha⁻¹) compared to the CSMF (\$28 895.00 ha⁻¹). At this level of input variable and fixed costs were the same

del sistema intercalado en estas condiciones se obtuvieron \hat{Y}_m , \hat{Y}_r y \hat{Y}_f , con sus respectivas ecuaciones de regresión (Cuadros 3 y 5). En estas condiciones se observó también que la mayor ganancia se obtuvo con el arreglo MMFF (\$29 293.00 ha⁻¹) comparado con el CSMF (\$28 895.00 ha⁻¹). A este nivel de insumos los costos fijos y variables fueron los mismos en los arreglos topológicos por lo que la diferencia entre ellos se debió a los rendimientos de las dos especies. En el arreglo MFMF, con el tratamiento 20, se obtuvo el mayor Y_m observado de 7.09 t en 0.5, lo cual equivale a 14.18 t en 1 ha dispersa del sistema. Sin embargo, no fue el tratamiento ni arreglo topológico con el que se obtuvo la mayor ganancia o mayor ERT, pues hubo una depresión en el rendimiento del frijol comparado con el obtenido en CSMF. La disminución del 12 a 55% en el rendimiento del frijol o soya intercalados con maíz ha sido reportada por otros autores (O'Callaghan *et al.*, 1994; Lesoing y Francis *et al.*, 1999; Matusso *et al.*, 2014). La bibliografía revisada indica que esto se debe a la competencia interespecífica por luz, agua y nutrimentos en que se ve en ventaja el maíz. El maíz tiene más área foliar y distribución radical (Hai-Yong *et al.*, 2013) que el frijol; así, el maíz intercalado intercepta más radiación fotosintéticamente activa que transforma en biomasa del grano (Tsubo y Walker, 2002).

Las mayores ERT observadas fueron de 1.29 en el sistema MMFF en el tratamiento 13; mientras que en MFMF la máxima ERT fue 1.27 en el tratamiento 20 (Cuadros 5 y 6). Un valor de ERT de 1.29 en MMFF significa que se requiere de 1.29 ha de cultivos simples para alcanzar los rendimientos del cultivo simple, comparados al mismo nivel de insumos. En promedio, la ERT de los sistemas MMFF y MFMF fue mayor que uno. En condiciones de producción en que la tierra de cultivo es un factor limitante la ERT es un buen indicador para elegir la mejor combinación de insumos que la maximiza.

En MFMF la ERT de 1.27 estuvo acompañada de una alta ERG (1.58) con un rendimiento de grano de maíz igual a 14.18 t ha⁻¹ dispersa del sistema al nivel de insumos del tratamiento 20 (Cuadros 1 y 6).

En el arreglo topológico MFMF, con el tratamiento 6 (60-45-15 kg de N-P-K y 40 500 plantas de maíz más 12.5-37.5-7.5 kg N-P-K y 105 000 plantas de frijol por hectárea) se obtuvo la mayor ganancia (\$30 472.00 ha⁻¹) con un rendimiento de grano de maíz de 6.71 t en 0.5 ha⁻¹ ocupada por el maíz. Además, datos no publicados mostraron que la proteína del grano de maíz en el arreglo topológico MFMF (8.6%) es

in the topological arrangements so the difference between them was due to the performance of the two species. The MFMF arrangement in accordance with the treatment 20, the greater was obtained Y_m observed at 7.09 t in 0.5, which equals 14.18 t in 1 ha dispersed system. However, it was not treating or topological arrangement with which the highest gain was obtained ERT or greater, since there was a depression in bean yield compared to that obtained in CSMF. The decrease of 12-55% in performance or soya bean intercropped with maize has been reported by other authors (O'Callaghan *et al.*, 1994; Lesoing and Francis *et al.*, 1999; Matusso *et al.*, 2014). The revised literature suggests that this is due to interspecific competition for light, water and nutrient advantage seen in corn. Corn has more leaf area and root distribution (Hai-Yong *et al.*, 2013) than beans; thus, interleaving corn intercepts more photosynthetically active radiation that transforms grain biomass (Tsubo and Walker, 2002).

The ERT older were 1.29 observed in the MMFF treatment system 13; while the maximum ERT MFMF was 1.27 in the treatment 20 (Tables 5 and 6). A value of ERT in MMFF 1.29 means that 1.29 is required is simple to achieve crop yields single crop, compared to the same level of inputs. On average, the ERT of the MMFF and MFMF systems was greater than one. Under production conditions where arable land is a limiting factor ERT is a good indicator to choose the best combination of inputs that maximizes.

In MFMF the ERT of 1.27 was accompanied by a high ERG (1.58) with a yield of grain like corn to 14.18 t ha⁻¹ dispersed system level inputs of treatment 20 (Tables 1 and 6).

In the topological arrangement MFMF, treatment 6 (60-45-15 kg N-P-K and 40 500 maize plants more 12.5-37.5-7.5 kg N-P-K and 105 000 bean plants per hectare) was obtained the biggest gain (\$30 472.00 ha⁻¹) with a corn grain yield of 6.71 t ha⁻¹ in 0.5 occupied by corn. In addition, unpublished data showed that the protein maize grain in the topological arrangement MFMF (8.6%) is higher than in MMFF (8.3%) and CSM (7.8%) compared to the same dose of N, P, K and D. Thus, treatment 6 MFMF would be choice for producers as to obtain a good yield of corn grain quality, which is important because corn obtain 39% of the protein in the daily diet (Bourges, 2013; Turrent *et al.*, 2013). In terms of the higher net income (\$33 942) it was obtained with the topological arrangement MMFF, treatment 4 (Tables 1 and 6).

mayor que en MMFF (8.3%) y CSM (7.8%) comparados a la misma dosis de N, P, K y D. Así, el tratamiento 6 en MFMF sería opción para los productores pues con el obtendrían un buen rendimiento de grano de maíz de buena calidad, lo cual es importante pues del maíz obtienen 39% de la proteína de la dieta diaria (Bourges, 2013; Turrent *et al.*, 2013). En términos de ingresos netos la mayor (\$33 942.00) se obtuvo con el arreglo topológico MMFF, tratamiento 4 (Cuadros 1 y 6).

Conclusions

In the maize crop 'H-155' and black bean shrub '8025' the highest net income was presented with the interleaved topological arrangements (two rows of maize alternated with two bean and an alternating groove of each species) compared to simple crops.

Cuadro 5. Valores máximos y mínimos observados de eficiencia relativa de la tierra (ERT) en cultivo de maíz y frijol arbustivo en MMFF, y sus respectivos valores de eficiencia relativa de la ganancia, ingresos netos, rendimiento de grano y rastrojo de maíz y grano de frijol.

Table 5. Maximum and minimum values observed relative efficiency of land (ERT) in maize culture and bush beans in MMFF, and their respective values of relative efficiency of the gain, net income, grain yield and corn stover and grain bean.

Tratamiento	Maíz		Frijol		ERT	ERG	IN (\$ \$ ha ⁻¹)	Y _m (t 0.5 ha ⁻¹)	Y _r	Y ₋₁
	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (kg 0.5 ha ⁻¹)	D (pl 0.5 ha ⁻¹)	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (kg 0.5 ha ⁻¹)	D (pl 0.5 ha ⁻¹)						
13	120-45-10	34 500	37.5-37.5-7.5	75 000	1.29	1.66	26 653	5.64	6.39	1.27
1	60-15-10	34 500	12.5-12.5-7.5	75 000	1.26	1.44	28 789	5.36	6.46	1.29
18	150-30-20	37 500	50.0-25-15	90 000	1.22	2.01	25 469	5.93	6.2	1.16
4	60-15-30	40 500	12.5-12.5-22.5	105 000	1.21	1.39	33 942	5.94	6.33	1.68
6	60-45-10	40 500	12.5-37.5-7.5	105 000	1.2	1.37	30 695	5.72	6.14	1.55
7	60-45-30	34 500	12.5-37.5-22.5	75 000	1.01	1.01	27 316	6.04	5.22	1.19
15	120-45-30	34 500	37.5-37.5-22.5	75 000	0.99	0.99	24 060	5.07	5.64	1.33
12	120-15-30	40 500	37.5-12.5-22.5	105 000	0.89	0.84	26 900	5.27	6.38	1.42
19	90-0-20	37 500	25-0-15	90 000	0.88	0.78	21 644	5.21	5.36	0.87
25	90-30-20	37 500	25-25-15	90 000	0.83	0.7	19 633	4.6	6.3	0.94

Cuadro 6. Valores máximos y mínimos observados de eficiencia relativa de la tierra (ERT) en cultivo de maíz y frijol arbustivo en MFMF, y sus respectivos valores de eficiencia relativa de la ganancia, ingresos netos, rendimiento de grano y rastrojo de maíz y grano de frijol.

Table 6. Maximum and minimum values observed relative efficiency of land (ERT) in maize culture and bush beans in MFMF, and their respective values of relative efficiency of the gain, net income, grain yield and corn stover and grain bean.

Tratamiento	Maíz		Frijol		ERT	ERG	IN (\$ \$ ha ⁻¹)	Y _m (t 0.5 ha ⁻¹)	Y _r	Y _f
	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (kg 0.5 ha ⁻¹)	D (pl 0.5 ha ⁻¹)	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O (kg 0.5 ha ⁻¹)	D (pl 0.5 ha ⁻¹)						
20	90-60-20	37 500	25-50-15	90 000	1.27	1.58	28 184	7.09	6.46	0.97
22	90-30-40	37 500	25-25-30	90 000	1.26	1.56	25 856	6.85	6.82	0.75
17	30-30-20	37 500	0-25-15	90 000	1.25	1.53	23 408	6.09	6.62	0.62
13	120-45-10	34 500	37.5-37.5-7.5	75 000	1.23	1.51	25 648	6.06	6.53	1.03
6	60-45-15	40 500	12.5-37.5-7.5	105 000	1.14	1.22	30 472	6.71	7.05	1.15
10	120-15-10	40 500	37.5-12.5-7.5	105 000	0.91	0.85	28 222	6.46	6.42	0.89
23	90-30-20	31 500	25-25-15	60 000	0.91	0.82	28 043	6.8	6.9	0.83
12	120-15-30	40 500	37.5-12.5-22.5	105 000	0.88	0.79	27 569	6.6	6.39	1.04
21	90-30-0	37 500	25-25-0	90 000	0.83	0.63	18 934	4.91	6.97	0.68
2	60-15-10	40 500	12.5-12.5-7.5	105 000	0.82	0.67	20 795	5.06	5.86	0.81

Conclusiones

En el cultivo de maíz 'H-155' y frijol negro arbustivo '8025' se presentó el mayor ingreso neto con los arreglos topológicos intercalados (dos surcos de maíz alternados con dos de frijol y un surco alternado de cada especie), en comparación de los cultivos simples.

En el arreglo topológico de dos surcos de maíz alternados con dos de frijol se obtuvo la mayor ganancia que fue de \$33 942.00 con la combinación de insumos por hectárea de 34-0-40 kg de N-P-K en 29 500 plantas de maíz y 11-0-30 kg de N-P-K en 80 000 plantas de frijol; es decir, \$5 047.00 más que en cultivo simple de las especies. Por efecto del mismo arreglo topológico también se generó más ganancia cuando el nivel del N, P, K y densidad de plantación fue constante en la comparación; y las máximas eficiencias relativas de la tierra y de ingreso fueron 1.29 y 2.01, respectivamente.

La mayor ganancia (\$30 472.00 ha⁻¹) en el arreglo topológico un surco alternado de maíz con uno de frijol se obtuvo con la combinación 60-45-15 kg de N-P-K y 40500 plantas de maíz y 12.5-37.5-7.5 kg N-P-K y 105 000 plantas de frijol, por hectárea MIAF. En este arreglo topológico la más alta eficiencia relativa de la tierra fue 1.27 y su respectiva eficiencia relativa de la ganancia fue 1.58. Ambas estuvieron asociadas a un alto rendimiento de grano de maíz (7.09 t 0.5 ha⁻¹) y una disminución en el rendimiento del frijol.

Agradecimientos

La primera autora agradece al CONACYT por la beca (Núm. 101536) otorgada para sus estudios de doctorado.

Literatura citada

- Barrios A.; Turrent F. A.; Ariza, F. R.; Otero, S. M. y Michel, A. A. 2008. Interacción genotipos x prácticas de manejo en el rendimiento de grano de híbridos de maíz. *Agric. Téc. Méx.* 34:85-90.
- Barrios, A. A.; Turrent, F. A.; Martínez, G. A.; Cortés, F. J. I. y Ortiz-Solorio, C. A. 2003. Optimización tecnológica simultánea para tres híbridos de maíz con precisión definida a priori. *Terra Latinoam.* 21(1):127-135.

In the topological arrangement of two rows of corn alternating with two bean was the biggest gain of \$33 942.00 with the combination of inputs per hectare of 34-0-40 kg N-P-K in 29 500 plants of maize and was obtained 11-0-30 kg N-P-K in 80 000 bean plants; i.e. \$5 047.00 rather than single crop species. The effect of the same topological arrangement more profit was also generated when the level of N, P, K and planting density was constant in the comparison; and the maximum relative efficiencies of land and income were 1.29 and 2.01, respectively.

The greatest gain (\$30 472.00 ha⁻¹) in the topological arrangement an alternating one groove corn bean was obtained with the combination 60-45-15 kg N-P-K and 40 500 of maize plants and 12.5-37.5-7.5 kg NPK and 105 000 bean plants per hectare MIAF. In this topological arrangement the highest relative efficiency soil was 1.27 and its respective relative gain efficiency was 1.58. Both were associated with high corn grain yield (7.09 t 0.5 ha⁻¹) and a decrease in bean yields.

End of the English version



- Bourges, H. R. 2013. El maíz: su importancia en la alimentación de la población mexicana. *In: el maíz en peligro ante los transgénicos. Un análisis integral sobre el caso de México.* Álvarez-Buylla, E. y Piñeyro, N. (Eds.). UNAM-UCCS, México. 231-247 pp.
- FIRA. 2012. Agrocostos para cultivo de maíz y frijol del ciclo primavera verano del año 2012. <http://www.fira.gob.mx/infespdtoxml/temasusuario.jsp>.
- Hai-Yong, X.; Hua, J. Z.; Hao, J. S.; Xing, G. B.; Christie, P.; Fu, S. Z. and Long, L. 2013. Dynamics of root length and distribution and shoot biomass of maize as affected by intercropping with different companion crops and phosphorus application rates. *Field Crops Res.* 150:52-62.
- INIFAP. 2012. Lista de precios y tarifas. [http://intranet.inifap.gob.mx/informa/coor_investigacion/20080506_lista_de_precios_\(2\).pdf](http://intranet.inifap.gob.mx/informa/coor_investigacion/20080506_lista_de_precios_(2).pdf).
- Johanne, P. A. and Lynch, J. P. 2012. Complementarity in root architecture for nutrient uptake in ancient maize/bean and maize/bean/squash polycultures. *Ann. Bot.* 110:521-534.
- Lesoing, G. W. and Francis, C. A. 1999. Strip intercropping effects on yield and yield components of corn, grain sorghum, and soybean. *Agron. J.* 91:807-813.
- Li, L.; Jianhao, S.; Fusuo, Z.; Xialolin, L.; Sicun, Y. and Zdenko, R. 2001. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients. *Field Crops Res.* 71:123-137.
- Lithourgidis, A. S.; Dordas, C. A.; Damalas, C. A. and Vlachostergios, D. N. 2011. Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Aust. J. Crop Sci.* 5(4):396-410.

- Malézieux, E.; Crozat, Y.; Dupraz, C.; Lawrans, M.; Makowski, D.; Ozier-Lafontaine, H.; Rapidel, B.; Tourdonnet, S. and Valantin, M. 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agron. Sustainable Dev.* 29:43-62.
- Martínez, G. A. y Martínez, D. M. A. 1996. Diseño de experimentos con fertilizantes. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo y Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Estado de México. Publicación especial 5. 155 p.
- Matusso, J. M. M.; Mugwe, J. N. and Mucheru, M. M. 2014. Effects of Different Maize (*Zea mays* L.)-soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) intercropping patterns on yields and its economics. *Adv. J. Agric. Res.* 2:38-48.
- O'Callaghan, J.; Maende, C. and Wyseure, G. 1994. Modelling the intercropping of maize and beans in Kenya. *Comput. Electron. Agric.* 11:351-365.
- Rezaei, Ch. E.; Dabbagh, A.; Shakiba, M. R.; Ghassemi, G. K.; Aharizad, S. and Shekari, F. 2011. Intercropping of maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) at different plant population densities. *Afr. J. Agric. Res.* 6(7):1786-1793.
- SAS Institute. 2005. The SAS® System for Windows® (Ver. 9.0). SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- SE. 2012. Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. Precios del año 2012. <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/>.
- Seran, T. H. and Brintha, I. 2010. Review on maize based intercropping. *J. Agron.* 9:135-145.
- Tsubo, M. and Walker, S. 2002. A model of radiation interception and use by a maize-bean intercrop canopy. *Agric. For. Meteorol.* 110:203-215.
- Turrent, F. A.; Barros, C.; Álvarez, B. E.; González, E.; Hazam, J.; Eccardi, F. y Piñeyro, A. 2013. El maíz transgénico en México (en 15 píldoras). UCCS, México. 44 p.
- Vandermeer, J. H. 1989. The ecology of intercropping. Cambridge University Press. Australia. 237 p.
- Volke, H. V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México. 61 p.
- Volke, H. V.; Turrent, F. A. y Castillo, M. 2005. Diseños de tratamientos y estimación de funciones de respuesta en la investigación agrícola. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México. 68 p.
- Willey, R. W. 1990. Resource use in intercropping systems. *Agric. Water Manage.* 17:215-231.