

EN

# Topological arrangements in the intercropping of maize and bean in the state of Nayarit, Mexico

ES

# Arreglos topológicos en el cultivo intercalado de maíz y frijol en el estado de Nayarit, México

Marco Antonio Medina Covarrubias<sup>1</sup>; Beatriz Guillermina Arrieta Ramos<sup>2</sup>; Víctor Manuel Jiménez Meza<sup>2</sup>; Karina Pérez Robles<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Nayarit, Posgrado de Ciencias Biológicas Agropecuarias y Pesqueras. Carretera Tepic – Compostela, km 9, Xalisco, Nayarit. C. P. 63059.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Nayarit (UAN). Unidad Académica de Agricultura (UAA), Carretera Tepic – Compostela, km 9. Xalisco, Nayarit.

<sup>3</sup>Catedrática del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Carretera Tepic – Compostela, km 9. Xalisco, Nayarit

\*Corresponding author:

karopr@hotmail.com

ORCID ID: 0000-0002-

9046-3214.

Received: September 25, 2021 /

Accepted: March 29, 2022

DOI:

10.5154/r.rchsat.2022.02.04

## Abstract

Mexico has become the main importer of corn. The small farmers use production systems based on polycultures with low yields. This experiment was conducted in order to develop technologies for cropping maize and bean. Three topological arrangements were evaluated, simple culture of corn and bean, intercropping of corn and bean with one furrow and intercropping with two furrows. A completely random design with three repetitions per treatment was used. The evaluated variables were aerial biomass, grain yield, harvest index, the relative efficiency of the soil (RES), and the relative efficiency of the gain (REG). Under this system, the bean production was not possible. The treatments of intercropping in two furrows showed the best values for the variables, except for the harvest index. The variety V-526 had the highest index. In the second year, differences were not found among the topological arrangements probably due to a reduced rainfall. In this year, the harvest index was higher for the variety VETX-200 UAN. As in the first assessment, the relative efficiency of the soil, the net income and the relative efficiency of the gain were similar for both varieties. In order to conduct the intercropping of corn and bean, it is necessary to evaluate other bean varieties. It is possible to obtain good yields, relative efficiency of soil and gain with the double furrow maize intercropping systems.

**Keywords:** Polycultures, relative efficiency of the soil, relative efficiency of the gain, harvest index.

## Resumen

México se ha convertido en el principal importador de maíz; los pequeños productores utilizan sistemas de producción basados en policultivos con rendimientos bajos. Con el objetivo de desarrollar tecnologías para el cultivo de maíz y frijol se estableció el siguiente experimento. Se probaron tres arreglos topológicos, cultivo simple de maíz y frijol, intercalado de maíz y



**Please cite this article as follows (APA 6):** Medina Covarrubias, M. A., Arrieta Ramos, B. G., Jiménez Meza, V. M., & Pérez Robles, K. (2022). Topological arrangements in the intercropping of maize and bean in the state of Nayarit, Mexico. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 2(1), 45-57. doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsat.2022.02.04>

frijol a una y dos hileras. Se utilizó un diseño completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron biomasa aérea, rendimiento de grano, índice de cosecha y eficiencia relativa de la tierra (ERT) y, eficiencia relativa de la ganancia (ERG). No fue posible la producción de frijol en este sistema. Los tratamientos de intercalado a dos hileras presentaron los mejores valores para las variables, excepto índice de cosecha. La variedad V-526 tuvo el mayor índice. En el segundo año no se encontraron diferencias entre arreglos topológicos, probablemente debido a la disminución en la precipitación. En ese año el índice de cosecha fue mayor en la variedad VETX-200 UAN. Al igual que en la primera evaluación, la eficiencia relativa de la tierra, el ingreso neto y la eficiencia relativa de la ganancia fue similar en ambas variedades. Para realizar el cultivo intercalado de maíz y frijol es necesario probar otras variedades de frijol. Es posible obtener buenos rendimientos, eficiencia relativa de la tierra y de la ganancia en sistemas intercalados de maíz a doble hilera.

**Palabras clave:** Policultivos, eficiencia relativa de la tierra, eficiencia relativa de la ganancia, índice de cosecha.

## Introduction

Maize was domesticated in Mexico about 9 000 years ago (Ortíz *et al.*, 2013), and is the most important and diverse species. However, Mexico is the world largest importer of this product, according to projections of the FAO, imports could reach 17.4 million tons in 2019/20, 400,000 tons more than estimated imports in 2018/19 (FAO, 2004).

The maize cultivation in Mesoamerica was traditionally developed in a polyculture system, the *milpa*, which is a system where maize (*Zea mays* L.), pumpkin (*Cucurbita* spp) and bean crops or some legumes that are known as the three sisters, are associated in a row-less arrangement (Ebel *et al.*, 2017).

The significance of polyculture systems is due to the farmer has a greater diversity of species and decreases the risk of crop failure due to the environment and problems with pests in the agroecosystem due to the increase of natural enemies that guarantee a biological balance (Ebel *et al.*, 2017).

The crop association can be conducted in three forms: 1) associated crops, where two or more species are established without an order; 2) strip cropping, where each species is established with certain independence; and 3) intercropping, where crops are established intercropped in different furrows (Guzmán y Mielgo, 2008).

In the intercropping, two or more crops are sown in the same area at the same time, with this, it is possible to increase the productivity per unit area (Hamd *et al.*, 2014). In addition, it has the benefit of improving soils and it is feasible to control pests or diseases (Torres *et*

## Introducción

El maíz fue domesticado en México hace aproximadamente 9 000 años (Ortíz *et al.*, 2013), y es la especie más importante y diversa. Sin embargo, México es el mayor importador mundial de ese producto, de acuerdo con proyecciones de la FAO, las importaciones podrían alcanzar en 2019/20 los 17.4 millones de toneladas, 400 000 toneladas más que las importaciones estimadas en 2018/19 (FAO, 2004).

El cultivo de maíz en Mesoamérica se realizó de forma tradicional en un sistema de policultivos, la milpa, que consiste en un sistema en donde se asocian en un arreglo sin surcos los cultivos de maíz (*Zea mays* L.), calabaza (*Cucurbita* spp) y frijol o una leguminosa, conocidos como las tres hermanas (Ebel *et al.*, 2017).

La importancia de los sistemas de policultivos radica en que el productor dispone de mayor diversidad de especies y se disminuyen los riesgos en las pérdidas de las cosechas, debido al ambiente, y los problemas con plagas en el agroecosistema, a causa del aumento de los enemigos naturales que garantizan un equilibrio biológico (Ebel *et al.*, 2017).

La asociación de cultivos puede darse de tres formas: 1) cultivos asociados, donde dos o más especies se establecen sin un orden; 2) cultivo en franjas, donde cada especie se establece con cierta independencia; y, 3) cultivos intercalados, donde los cultivos se establecen intercalados en hileras diferentes (Guzmán y Mielgo, 2008).

En el cultivo intercalado se siembran dos o más cultivos en el mismo espacio, al mismo tiempo, con lo que

*al.*, 2018) and the weed control is optimized (Charani y Sharif, 2018).

Also, the ancient practice of tropical agriculture of intercropping cereals with legumes, combines two complementary species by establishing high and low structure plants, adventitious and deep radical systems, with the advantage of more efficient use of land. Additionally, legumes fix atmospheric nitrogen to the soil improving its fertility (Nasir *et al.*, 2019), while maize holds the bean plant (Aguilar *et al.*, 2003).

However, studies about intercropping of maize and bean have been conducted, studies where indeterminate-growing bean varieties with almost no ability to grow on maize plants have been used. Thus, Albino-Garduño *et al.* (2015) found that the bean Negro '8025' intercropped in two furrows, increased its biomass and grain yield compared with the simple culture; also, intercropped systems increased the maize grain yield compared with the simple culture (Albino-Garduño *et al.*, 2016).

Although in Mexico, from the fifties, the monoculture was promoted with the use of mechanization, variety improvement and development of agrochemicals (Ebel *et al.*, 2017), currently, a program aimed at supporting small farmers with less than 2.5 ha, was implemented in order to become them more self-sufficient. They obtain a monthly allowance if they use their land for multiple cropping. Because small farmers represent the 20 % of the maize areas harvested in Mexico, the program could reduce the increase of the corn import demand in the country (OECD and FAO, 2020).

Ebel *et al.* (2017) point out that the challenge faced by small farmers is the elevated level of demand for workforce and lower yield per area compared to high-input maize, in addition to climate change, due to the dependence of rainfed farmers. For this, it is necessary to develop production systems based on traditional agriculture but adapted to the conditions of the 21st century.

Consequently, and in order to support the technology development for small farmers that use polycultures, this research was raised.

### Methodological approach

The experiment was carried out on the trial fields of the Unidad Académica de Agricultura of the UAN, located in Xalisco, Nayarit, during spring-summer 2019-2020. Its geographic location is 21° 25' 44.84" north latitude and 104° 53' 24.53" west longitude with altitude of

permite incrementar la productividad por unidad de área (Hamd *et al.*, 2014). Además, se tiene la ventaja de mejorar los suelos y es posible controlar plagas o enfermedades (Torres *et al.*, 2018) y se optimiza el control de malezas (Charani y Sharif, 2018).

Además, la práctica antigua de la agricultura tropical de intercalar cereales con legumbres mezcla dos especies complementarias, al establecer plantas de estructura alta y baja, sistemas radicales adventicio y profundo, con la ventaja de utilizar más eficientemente el suelo. Además, las legumbres fijan nitrógeno atmosférico al suelo, mejorando su fertilidad (Nasir *et al.*, 2019), mientras que el maíz brinda el sostén a la planta de frijol (Aguilar *et al.*, 2003).

Sin embargo, se han realizado trabajos de intercalado de maíz y frijol en donde se han utilizado variedades de frijol de crecimiento indeterminado con capacidad casi nula de trepar sobre las plantas de maíz. Así, Albino-Garduño *et al.* (2015) encontraron que el frijol variedad Negro '8025', intercalado a dos hileras incrementó su biomasa y el rendimiento de grano en comparación con el cultivo simple; además, los sistemas intercalados incrementaron el rendimiento de grano de maíz en comparación con el cultivo simple (Albino-Garduño *et al.*, 2016).

Aunque en México, a partir de los años 50's, se promovió el monocultivo con el uso de mecanización, mejoramiento de variedades y el desarrollo de agroquímicos (Ebel *et al.*, 2017), actualmente, se implementó un programa con la finalidad de apoyar a pequeños productores, con menos de 2.5 ha, con el fin de hacerlos autosuficientes. Estos reciben un subsidio mensual si utilizan su tierra para cultivos múltiples. Debido a que los pequeños productores de maíz representan el 20 % de las superficies de maíz cosechadas en México, el programa podría reducir el crecimiento de la demanda de importaciones del país (OECD y FAO, 2020).

Ebel *et al.* (2017) indican que el reto que enfrentan los pequeños productores es, alta demanda de mano de obra y menor rendimiento por área en comparación con el maíz de altos insumos sumados al cambio climático, debido a la dependencia, que tienen los productores de temporal. Por lo que es necesario el desarrollo de sistemas de producción basados en agricultura tradicional pero adaptados a las condiciones del siglo XXI.

Debido a lo anterior, y con el objetivo de apoyar el desarrollo de tecnología para pequeños productores que utilizan policultivos, se planteó la siguiente investigación.

973 m. The semi-warm sub-humid climate (A)C(w2) with summer rains has an average annual temperature of 21.8 °C and precipitation of 1 327 mm (García, 2004).

### Treatments

Originally, a factorial treatment design with two factors was used: the first factor consisted in two maize varieties and two bean varieties. The assessed maize varieties were two white varieties, Tuxpeño tardío (V-526) and VETX-200 UAN; regarding the bean, the varieties Pinto and Negro Nayarit were assessed. The second factor was about three topological arrangements that consisted in: a) simple culture of maize and bean, which involves splitting the experimental unit in half in order to establish each crop, six furrows for corn and six for beans; b) two furrows of maize intercropped with two of bean; and c) one furrow of maize intercropped with one of bean.

However, because bean did not develop under the experimental conditions, during the statistical analysis the number of treatments analyzed was reduced by half, without considering the bean crop as study factor. The treatments were: three topological arrangements and two maize varieties.

### Experimental design

A completely random design with three repetitions per treatment, was used. The experimental unit consisted of 6 furrows of 0.8 m wide and 2.2 m long and total area of 10.56 m<sup>2</sup>. The useful plot was of two center furrows with area of 3.52 m<sup>2</sup>.

### Assessed variables

**Aerial biomass.** The plants were cut from the neck at the time of harvesting, the samples were dehydrated in an oven at 70 °C to constant weight. The result was extrapolated to one hectare.

**Grain yield.** After harvesting, the grain was taken from the corncob, the samples were dehydrated in an oven at 70 °C to constant weight. The result was extrapolated to one hectare.

**Harvest index.** It was obtained by dividing the weight of the grain by the aerial biomass of the plant.

**Relative efficiency of the soil (RES).** It was determined with the following formula (Vandermeer, 1989; Malézieux *et al.*, 2009).

**Production value.** It was obtained by multiplying the yield by the rural average price and it was extrapolated

### Enfoque metodológico

El experimento se llevó a cabo en el campo experimental de la Unidad Académica de Agricultura de la UAN, ubicada en Xalisco, Nayarit, durante los ciclos primavera-verano 2019-2020. La ubicación geográfica del sitio es 21° 25' 44.84" latitud norte y 104° 53' 24.53" longitud oeste con una altitud de 973 m. El clima semicálido subhúmedo (A)C(w2) con lluvias en verano tiene una temperatura media anual de 21.8 °C y una precipitación de 1 327 mm (García, 2004).

### Tratamientos

Originalmente se utilizó un diseño de tratamientos factorial, con dos factores: El primer factor consistió en dos variedades de maíz y dos de frijol. Las variedades de maíz evaluadas fueron dos blancas, Tuxpeño tardío (V-526) y VETX-200 UAN; en frijol se evaluaron las variedades Pinto y Negro Nayarit. El segundo factor fueron tres arreglos topológicos, que consistieron en: a) cultivo simple de maíz y frijol, que consistió en la división de la unidad experimental a la mitad para establecer cada uno de los cultivos, seis surcos para maíz y seis para frijol; b) dos surcos de maíz intercalado con dos de frijol; y, c) un surco de maíz intercalado con uno de frijol.

Sin embargo, debido a que el frijol no se desarrolló en las condiciones experimentales, durante el análisis estadístico, el número de tratamientos analizados se redujo a la mitad, sin considerar el cultivo de frijol como factor de estudio. Los tratamientos fueron: tres arreglos topológicos y dos variedades de maíz.

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento. La unidad experimental consistió en 6 surcos de 0.8 m de ancho por 2.2 m de largo y área total de 10.56 m<sup>2</sup>. La parcela útil fue, los dos surcos centrales con área de 3.52 m<sup>2</sup>.

### Variables evaluadas

**Biomasa aérea.** Las plantas se cortaron del cuello en el momento de la cosecha, las muestras se deshidrataron en una estufa a 70 °C hasta peso constante. El resultado se extrapoló a una hectárea.

**Rendimiento de grano.** Después de la cosecha, se separó el grano del olote, las muestras se deshidrataron en una estufa a 70 °C hasta peso constante. El resultado se extrapoló a una hectárea.

**Índice de cosecha.** Se obtuvo dividiendo el peso del grano entre la biomasa aérea de la planta.

to one hectare. The guaranteed price established by the federal government at 5.6 pesos for 2019/20, was considered.

**Net income.** It was determined by subtracting the cost of production from the production value.

**Relative efficiency of the gain (REG).** The formula proposed by Vandermeer (1989) was applied.

### Statistical analysis

An analysis of variance and Tukey's range test ( $\alpha \leq 0.05$ ) were applied to the data obtained through the statistical program SAS® 9.2 (Statistical Analysis System).

## Results and discussion

### Bean crop

The effect of the treatments in the bean crop was not analyzed because plants did not develop, and it was not possible to obtain the harvest. This problem occurred in the two assessment years. The problem seen is probably due to the dates of establishment. For the experiment, both crops were planted at the same time before the rainy season, although in the state, bean is planted after the rainy season, with residual moisture. This situation caused the faster development of conditions of excess humidity and shade for beans at the bottom of the maize crop. The increase in the relative humidity has been considered a disadvantage of the intercropping of high and short plants because it can develop greater presence of pathogenic fungi (Ebel *et al.*, 2017). But not only the relative humidity of the canopy increases, the intensity of sunlight and air temperature also decrease, which probably affects the growth of short plants. For this, it is recommended to try a different scheme to make possible the intercropping of these two species in the state includes sowing on different dates (Liebman, 1999). Another aspect to consider is that the distances between furrows and plants of associated crops must be considered to favor the interception of the light that is the main problem for the intercropping.

### Maize crop

#### First assessment year

In the first assessment year, the analysis of variance showed interaction between factors, topological arrangement, and variety. In all the variables assessed, there were differences, except for the harvest index for the topological arrangement factor and, in the case of

**Eficiencia relativa de la tierra (ERT).** Se determinó a través de la siguiente fórmula (Vandermeer, 1989; Malézieux *et al.*, 2009).

**Valor de la producción.** Se obtuvo multiplicando el rendimiento por el precio medio rural y se extrapoló a una hectárea. Se tomó en cuenta el precio de garantía establecido por el gobierno federal en 5.6 pesos para el año 2019/20.

**Ingreso neto.** Se determinó restando el costo de producción al valor de la producción.

**Eficiencia relativa de ganancia (ERG).** Se aplicó la fórmula propuesta por Vandermeer (1989).

### Análisis estadístico

A los datos obtenidos se les aplicó un análisis de varianza y prueba de medias de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) mediante el programa estadístico SAS® 9.2 (Statistical Analysis System).

## Resultados y discusión

### Cultivo de frijol

No se analizó el efecto de los tratamientos en el cultivo de frijol debido a que las plantas no se desarrollaron y no fue posible obtener la cosecha. Este problema se presentó en los dos años de evaluación. El problema observado probablemente está relacionado con las fechas de establecimiento. Para el experimento se establecieron ambos cultivos al mismo tiempo, antes de las lluvias, aunque en el Estado, el frijol se establece después de la temporada de lluvias, en humedad residual. Esta situación creó, en la parte baja del cultivo de maíz, que se desarrollara rápidamente condiciones de exceso de humedad y sombreado para el frijol. Se ha considerado como una desventaja del cultivo intercalado de plantas altas y bajas que puede incrementarse la humedad relativa, la cual puede fomentar mayor presencia de hongos patógenos (Ebel *et al.*, 2017). Pero no solo se incrementa la humedad relativa del dosel, también se reduce la intensidad de la luz solar y la temperatura del aire, lo que puede afectar el crecimiento de las plantas bajas. Por lo que se recomienda probar un esquema diferente, para hacer que el cultivo intercalado de estas dos especies en el Estado incluya la siembra en fechas diferentes (Liebman, 1999). Otro aspecto por considerar es que se debe tomar en cuenta las distancias entre surcos y plantas de los cultivos asociados para favorecer la interceptación de luz que es el principal problema en cultivos intercalados.



varieties, there were differences only for the harvest index variable.

Effect of the topological arrangement

Biomass

The growth is highly dependent on the radiation intercepted by the foliage and on its conversion efficiency into dry matter that at the same time, depends on the available resources and on the genotype. In the two-furrow topological arrangement, the amount of biomass produced was greater, which indicates that the distance allowed to capture a greater amount of energy independently of the variety.

Most of the biomass production depends on the genetic characteristics of varieties, combined with the environmental factors, in this case, the distance between plants affects the amount of light energy incident on the foliage. Thus, Hernández and Soto (2013), explain that the production of dry matter is the result of the efficiency of crop foliage in the interception and utilization of available solar radia-

Cultivo de maíz

Primer año de evaluación

En el primer año de evaluación, el análisis de varianza mostró interacción entre factores, arreglo topológico y variedad (Cuadro 1). Se encontraron diferencias en todas las variables evaluadas, exceptuando el índice de cosecha para el factor arreglo topológico y, en el caso de variedades, únicamente se encontraron diferencias en la variable índice de cosecha.

Efecto del arreglo topológico

Biomasa

El crecimiento es altamente dependiente de la radiación que el follaje pueda interceptar y de la eficiencia de conversión de esta, en materia seca, que a su vez depende de los recursos disponibles y del genotipo. En el arreglo topológico a doble hilera, la cantidad de biomasa producida fue mayor, lo que indica que ese distanciamiento permitió captar mayor cantidad de energía independientemente de la variedad.

Table 1. Result of the range test for the variables assessed in maize established into three topological arrangements (Xalisco, Nayarit, 2019).  
Cuadro 1. Resultado de la prueba de medias de las variables evaluadas en maíz establecida en tres arreglos topológicos (Xalisco, Nayarit, 2019).

Treatment / Tratamiento	Biomass (t·ha <sup>-1</sup> ) / Biomasa (t·ha <sup>-1</sup> )	Yield (t·ha <sup>-1</sup> ) / Rendimiento (t·ha <sup>-1</sup> )	Harvest index / Índice de cosecha	Relative efficiency of the soil / Eficiencia relativa de la tierra	Net income (MNX) / Ingreso neto (MNX)	Relative efficiency of the gain / Eficiencia relativa de la ganancia
Simple culture / Cultivo simple	13,249 b	3,488.7 b	0.2660 a	1.0000 b	21,902 b	12,245 b
Simple furrow / Hilera sencilla	15,854 ab	4,397.1 a	0.2778 a	1.2683 a	27,605 a	17,494 a
Double furrow / Doble hilera	17,469 a	4,472.7 a	0.2581 a	1.2833 a	28,079 a	17,931 a
HSD	2,779.4	649.7	0.0296	0.2119	4,078.8	3,754
C.V.	11,624	10 239	7.194	11.619	10 239	15 338

Means with equal letters in the same column are not statistically different ( $Pr \leq 0.05$ ). HSD: Honest Significant Difference. C.V.: coefficient of variation.  
Medias con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente ( $Pr \leq 0.05$ ). HDS: diferencia significativamente honesta. C.V.: coeficiente de variación.

tion during the growth cycle. However, this efficiency can be influenced by the amount of solar radiation, the ability of leaves to photosynthesize, the leaf area index, the plant architecture and respiration, among others, which is summarized in internal growth factors related to the genotype and external factors related to the environment and management practices used during the cycle.

### Yield

Regarding the yield, the double furrow arrangement increased its grain production in 28.35 % and the one furrow arrangement in 26.03 % regarding the simple culture.

The greater yields and production of dry biomass produced in the two-furrow arrangement, with respect to the simple culture, could be due to the greater uptake of photosynthetic radiation throughout the plant canopy. Because, when water and nutrients are not limiting factors for the growth of a crop, the solar radiation is the main resource that determines its productivity (Hamdollah, 2012).

Albino *et al.* (2015) and Morales *et al.* (2006) find that the better biomass production and yields appeared when it was intercropped in a double furrow and they attributed it to the highest radiation. The double furrow arrangement promotes an advantage in terms of gaps between plants, so it represents a better interception of the solar radiation in the plant canopy which is reflected in higher biomass and grain yield.

### Harvest index

The topological arrangement did not affect the harvest index that express the economic yield in percentage of biological yield. The values obtained in both varieties are under 0.3. It is considered that, harvest indexes under 0.3 are presented in plants of good freightage, but they showed small spikes due to the adverse conditions from flowering stage up to fully developed grains (Arias *et al.*, 2012).

### Relative efficiency of the soil

In terms of the relative efficiency of the soil (RES), the intercropped topological arrangements were superior to the monoculture. Being more efficient the two-furrow intercropping. When the RES is less or equal to 1, there are no advantages of intercropping over planting in monoculture. However, when the RES is higher to 1, a larger area of land will be required by monocultures to achieve the same yield as when combined planting is carried out. Values for the relative efficiency of the

La mayor producción de biomasa depende de las características genéticas de las variedades, combinadas con los factores ambientales, en ese caso la distancia entre plantas afecta la cantidad de energía luminosa incidente en el follaje. Así, Hernández y Soto (2013), explican que la producción de materia seca es el resultado de la eficiencia del follaje del cultivo en la intercepción y utilización de la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento. Sin embargo, esta eficiencia puede ser influenciada por la cantidad de radiación solar, la habilidad de las hojas para fotosintetizar, el índice de área foliar, la arquitectura de la planta y la respiración, entre otros, lo que se resume en factores internos de crecimiento relacionados con el genotipo y factores externos relacionados con el ambiente y las prácticas de manejo utilizadas durante el ciclo.

### Rendimiento

En cuanto al rendimiento, el arreglo a doble hilera incrementó la producción de grano en 28.35 % y a una hilera en 26.03 % con respecto al cultivo simple.

Los mayores rendimientos y producción de biomasa seca producida en el arreglo a dos hileras, respecto al cultivo simple, se pudo deber a la mayor captación de la radiación fotosintética en todo el dosel de la planta. Ya que, cuando el agua y los nutrimentos no son factores limitantes en el crecimiento de un cultivo, la radiación solar es el recurso principal que determina su productividad (Hamdollah, 2012).

Albino *et al.* (2015) y Morales *et al.* (2006) encontraron que los mejores rendimientos y producción de biomasa se presentaron cuando estaba intercalado a doble hilera y lo atribuyeron a la mayor captación de radiación. El arreglo a doble hilera propicia una ventaja a nivel de espacio entre plantas, por lo que representa una mejor intercepción de la radiación solar en el dosel de las plantas que se ve reflejado en mayor biomasa y rendimiento de grano.

### Índice de cosecha

El arreglo topológico no afectó el índice de cosecha que expresa el rendimiento económico en porcentaje del rendimiento biológico. Los valores obtenidos en ambas variedades se encuentran por debajo del 0.3. Se considera que, índices de cosecha por debajo de 0.3 ocurre en plantas con buen porte, pero que presentaron espigas chicas por malas condiciones durante la floración y el llenado de grano (Arias *et al.*, 2012).

### Eficiencia relativa de la tierra

En cuanto a eficiencia relativa de la tierra (ERT), los arreglos topológicos intercalados fueron superiores

land in maize crops of two furrows of 1.12 (Albino *et al.*, 2015), 1.29 (Albino, 2016), 1.38 (González, 2001) have been reported. In this case, the value of 1.28 is within this range. Charani *et al.* (2018) point out that, although maize in simple culture got a higher yield, the relative efficiency of the land was greater (1.24) when it was found in the two-furrow intercropping.

**Variety effect**

The variety effect in the variables assessed is shown in Table 2.

The maize plant is very efficient in the biomass production. This high production capacity is due, among other factors, to a low energy value of the dry matter produced and, to a proper crop structure. As in most of the crops, in maize, there is a close relationship between yield and biomass production, which depends on the amount of the intercepted photosynthetic active radiation. Due to its photosynthesis system (C4) the maize is very efficient to transform radiation into biomass (Andrade, 1995).

**Harvest index**

The variety VETX-200-UAN showed a biomass production like the variety Tuxpeño (V-526), and both varieties presented similar yields, however, there were differences in the harvest index (Table 2). These values are above what was observed in the local maize varieties Jarocho, Campeón, Negro and Macho, assessed in Chiapas, which had a harvest index of 0.11,

al monocultivo. Siendo más eficiente el intercalado a dos hileras. Cuando la ERT es menor que o igual a 1, no existen ventajas de la asociación de cultivos sobre la siembra en monocultivo. Sin embargo, cuando la ERT es superior a 1, entonces se requerirá una mayor área de terreno por parte de los monocultivos para lograr el mismo rendimiento que cuando se realiza la siembra combinada. Se han reportado valores para la eficiencia relativa de la tierra en cultivos de maíz a doble hilera de 1.12 (Albino *et al.*, 2015), 1.29 (Albino, 2016), 1.38 (González, 2001) En este caso, el valor de 1.28 se encuentra dentro de ese rango. Charani *et al.* (2018) indican que, aunque el maíz en cultivo simple obtuvo mayor rendimiento, la eficiencia relativa de la tierra fue mayor (1.24) cuando se encontraba en cultivo intercalado a dos hileras.

**Efecto de la variedad**

El efecto de la variedad en las variables evaluadas se presenta en el Cuadro 2.

La planta de maíz es muy eficiente en la producción de biomasa. Esta alta capacidad de producción se debe, entre otros factores, a una elevada tasa fotosintética, a un valor energético bajo de la materia seca producida y, a una adecuada estructura de cultivo. Al igual que en la mayoría de los cultivos, en el maíz existe una estrecha relación entre rendimiento y producción de biomasa, la cual depende de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada. El maíz por su sistema fotosintético (C4) es muy eficiente para convertir radiación en biomasa (Andrade, 1995).

**Table 2. Result of the range test for the variables assessed in two maize varieties (Xalisco, Nayarit, 2019).**  
**Cuadro 2. Resultado de la prueba de medias de las variables evaluadas en dos variedades de maíz (Xalisco, Nayarit, 2019).**

Treatment / Tratamiento	Biomass (t·ha <sup>-1</sup> ) / Biomasa (t·ha <sup>-1</sup> )	Yield (t·ha <sup>-1</sup> ) / Rendimiento (t·ha <sup>-1</sup> )	Harvest index / Índice de cosecha	Relative efficiency of the soil / Eficiencia relativa de la tierra	Net income (MNX) / Ingreso neto (MNX)	Relative efficiency of the gain / Eficiencia relativa de la ganancia
V-526	14,684 a	4,115.6 a	0.2814 a	1.1822 a	25,838 a	15,867 a
VETX-200 UAN	16,364 a	4,123.4 a	0.2531 b	1.1856 a	25,887 a	15,913 a
HSD	1,853.3	433.22	0.0197	0.1413	2,719.8	2,503.2
C.V.	11,624	10.239	7.194	11.619	10.239	15.338

Means with equal letters in the same column are not statistically different ( $Pr \leq 0.05$ ). HSD: Honest Significant Difference. C.V.: coefficient of variation.  
Medias con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente ( $Pr \leq 0.05$ ). HDS: diferencia significativamente honesta. C.V.: coeficiente de variación.



0.17, 0.18 and 0.23 respectively (Rodríguez-Larramendi et al., 2016). This is because the biomass distribution is a characteristic of each genotype (Elizondo, 2011). López (2011) says that the grain yield is positively associated to the biomass production (this is, the higher the biomass production, the higher the grain yield); by finding in his research results that genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) produced a greater amount of biomass and thus, a higher grain yield. In this case, the greater production of dry biomass can be used to feed cattle; because, in the characteristics for a forage maize there are the high production of dry biomass and harvest index (Tóala, 2008).

### Second assessment year

In the second assessment year, there were not differences in the variables assessed due to the topological arrangement, but there were differences among the varieties for the biomass and harvest index variables. The results of the range test per topological arrangement are in Table 3. If we compare the results with those of the previous year, the biomass yield is the third part of the last year, although the grain yield only decreased approximately 25 %. These results are probably related to the environmental conditions during the two assessment years. In the first year, there were phenomena that caused heavy rains and the crop had sufficient humidity for its development, while, in the second assessment year there were not rains and the crop was exposed to conditions of stress

### Índice de cosecha

La variedad VETX-200-UAN presentó una producción de biomasa similar a la variedad Tuxpeño (V-526), y ambas variedades presentaron rendimientos similares, sin embargo, sí se observaron diferencias en el índice de cosecha (Cuadro 2). Estos valores están por encima de lo observado en variedades de maíz locales Jarocho, Campeón, Negro y Macho, evaluadas en Chiapas, que tuvieron un índice de cosecha de 0.11, 0.17, 0.18 y 0.23 respectivamente (Rodríguez-Larramendi et al., 2016). Esto se debe a que la distribución de biomasa es característica de cada genotipo (Elizondo, 2011). López (2011) explica que el rendimiento de grano esta positivamente asociado a la producción de biomasa (esto es, a mayor producción de biomasa mayor rendimiento de grano); al encontrar en sus resultados de investigación que genotipos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) produjeron mayor cantidad de biomasa y por consiguiente tuvieron mayor rendimiento de grano. En este caso, la mayor producción de biomasa seca puede ser utilizada en la alimentación del ganado; ya que, dentro de las características para un maíz forrajero está la alta producción de biomasa seca e índice de cosecha (Tóala, 2008).

### Segundo año de evaluación

En el segundo año de evaluación, no se encontraron diferencias en las variables evaluadas debidas al arreglo topológico, pero sí entre variedades para las variables biomasa e índice de cosecha.

**Table 3. Result of the range test of the variables assessed in maize established in three topological arrangements (Xalisco, Nayarit, 2020).**

**Cuadro 3. Resultado de la prueba de medias de las variables evaluadas en maíz establecida en tres arreglos topológicos (Xalisco, Nayarit, 2020).**

Treatment / Tratamiento	Biomass (t·ha <sup>-1</sup> ) / Biomasa (t·ha <sup>-1</sup> )	Yield (t·ha <sup>-1</sup> ) / Rendimiento (t·ha <sup>-1</sup> )	Harvest index / Índice de cosecha	Relative efficiency of the soil / Eficiencia relativa de la tierra	Net income (MNX) / Ingreso neto (MNX)	Relative efficiency of the gain / Eficiencia relativa de la ganancia
Simple culture / Cultivo simple	4,938.3 a	3,128.7 a	0.3894 a	1.0000 a	9,476.83 a	19,641.7 a
Simple furrow / Hilera sencilla	5,512.5 a	3,092.6 a	0.3598 a	0.9883 a	9,458.78 a	19,415.0 a
Double furrow / Doble hilera	5,304.7 a	3,158.3 a	0.3761 a	1.0083 a	9,491.66 a	19,828.0 a
HSD	670.6	404.6	0.0439	0.1374	202.32	2,540.3
C.V.	8.2900	8.4024	7.6008	8.9324	1.3862	8.4025

Means with equal letters in the same column are not statistically different ( $Pr \leq 0.05$ ). HSD: Honest Significant Difference. C.V.: coefficient of variation.

Medias con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente ( $Pr \leq 0.05$ ). HDS: diferencia significativamente honesta. C.V.: coeficiente de variación.

because the lack of water. This effect of environmental conditions in the decrease of yields, has been already observed. Medhi *et al.* (2015) point out that the higher-than-average temperatures in the second assessment year in a study about maize intercropped with bean in two, three and four alternated furrows, caused a decrease in the yield of both crops.

Regarding yields, it is considered that in Nayarit, the maize production in rainfed conditions is  $2\,900\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; while, in irrigation and residual moisture conditions, yields are of  $4.0\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (INIFAP, 2020).

It is considered that, in Mexico, less than one fifth of the cultivated land aimed at maize is proper to improved hybrid varieties. Therefore, the maize yield is from 2 to  $4\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  slightly more than a quarter of the average yield in the United States of America (FAO, 2004). This has not changed, in 2019, the 84 % of the cultivated area showed an average yield less than  $5\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  of grain maize, because the 60 % of the maize comes from small-scale farmers (SADER, 2021).

### Impact of the varieties

The result of the range test for the variables assessed is shown in Table 4.

Regarding the biomass produced, differences were found among varieties. However, unlike the first year, the variety V-526 produced a greater amount of biomass. This can be due to the differences in the humidity conditions presented in the second year. In terms of the biomass produced compared with the last year, the variety V-526 produced 20.37 % more than the VETX-200 UAN one. And, although the grain yield was similar, this difference was reflected on the harvest index, where the variety V-526 showed a lower index.

In respect of yield, there were not differences among the varieties, but there were differences in the harvest index. In this case, the higher harvest index was found in the variety VETX-200 UAN. This variety was better adapted to those seeding conditions.

This type of yield variation due to agroecological differences, cannot be reduced. The variety V-526 was generated by the INIFAP and was produced to be sown in warm climates, it is used with rainfalls of over 650 mm, it has a high scope for adaptation and is very resistant to grain rots (INEGI, 1997).

As in the first assessment, the relative efficiency of the soil, the net income and the relative efficiency of the gain were similar for both varieties.

Los resultados de las pruebas de medias por arreglo topológico se observan en el Cuadro 3. Si se comparan los resultados con el año anterior, el rendimiento de biomasa es la tercera parte del año anterior, aunque el rendimiento de grano solo disminuyó en 25 % aproximadamente. Estos resultados probablemente están relacionados a las condiciones ambientales presentadas en los dos años de evaluación. En el primer año, se presentaron fenómenos que ocasionaron fuertes lluvias y el cultivo se encontró con suficiente humedad para su desarrollo, mientras que en el segundo año de evaluación no se presentaron lluvias y el cultivo estuvo expuesto a condiciones de estrés por falta de agua. Este efecto de las condiciones ambientales en la disminución de los rendimientos ya ha sido observado. Medhi *et al.* (2015) indican que las temperaturas mayores al promedio en el segundo año de la evaluación en un trabajo de maíz intercalado con frijol en bandas de dos, tres y cuatro surcos alternados, provocaron un descenso en el rendimiento de ambos cultivos.

En cuanto a los rendimientos, se considera que en Nayarit la producción de maíz en condiciones de temporal es de  $2\,900\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ; mientras que, en condiciones de humedad residual o riego, los rendimientos son de  $4.0\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (INIFAP, 2020).

Se considera que, en México, menos de una quinta parte de la tierra cultivada destinada al maíz es adecuada para variedades híbridas mejoradas. Como consecuencia de esto, el rendimiento del maíz es de 2 a  $4\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  poco más que la cuarta parte del rendimiento promedio de los Estados Unidos de América (FAO, 2004). Esto no ha cambiado, en el 2019, el 84 % de la superficie cultivada presentó rendimiento promedio menor a  $5\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  de maíz grano, ya que el 60 % del maíz proviene de productores a pequeña escala (SADER, 2021).

### Efecto de las variedades

El resultado de la prueba de medias para las variables evaluadas se muestra en el Cuadro 4.

En cuanto a la biomasa producida se encontraron diferencias entre variedades. Sin embargo, a diferencia del primer año, la variedad V-526 produjo mayor cantidad de biomasa. Esto puede ser debido a las diferencias en las condiciones de humedad presentadas en el segundo año. En cuanto a la biomasa producida a diferencia del año anterior, la variedad V-526 produjo 20.37 % más que VETX-200 UAN. Y, a pesar de que el rendimiento de grano fue similar, esta diferencia se reflejó en el índice de cosecha, donde la variedad V-526 presentó menor índice.

**Table 4. Result of the range test of the variables assessed in two maize varieties (Xalisco, Nayarit, 2020).****Cuadro 4. Resultado de la prueba de medias de las variables evaluadas en dos variedades de maíz (Xalisco, Nayarit, 2020).**

Treatment / Tratamiento	Biomass (t·ha <sup>-1</sup> ) / Biomasa (t·ha <sup>-1</sup> )	Yield (t·ha <sup>-1</sup> ) / Rendimiento (t·ha <sup>-1</sup> )	Harvest index / Índice de cosecha	Relative efficiency of the soil / Eficiencia relativa de la tierra	Net income (MXN) / Ingreso neto (MXN)	Relative efficiency of the gain / Eficiencia relativa de la ganancia
V-526	5,736.1 a	3,124.8 a	0.3532 b	0.9978 a	9,474.90 a	19,617.6 a
VETX-200 UAN	4,767.5 b	3,128.2 a	0.3970 a	1.0000 a	9,476.61 a	19,638.9 a
HSD	447.16	269.81	0.0293	0.0916	134.91	1,693.9
C.V.	8.2900	8.4024	7.6008	8.9324	1.3862	8.402.5

Means with equal letters in the same column are not statistically different ( $Pr \leq 0.05$ ). HSD: Honest Significant Difference. C.V.: coefficient of variation.

Medias con letras iguales en la misma columna no difieren estadísticamente ( $Pr \leq 0.05$ ). HDS: diferencia significativamente honesta. C.V.: coeficiente de variación.

## Conclusions

It is necessary to evaluate other bean varieties or use different dates for sowing to carry out the intercropping of maize and bean. It is possible to obtain good yields, relative efficiency of the soil and gain in double furrow maize intercropping systems.

En cuanto al rendimiento, no se observaron diferencias entre variedades. Pero sí en el índice de cosecha. En este caso, el índice de cosecha mayor se encontró en la variedad VETX-200 UAN. Esta variedad se adaptó mejor a esas condiciones de siembra.

La diversidad de rendimiento de este tipo, debidas a diferencias agroecológicas, no se pueden reducir. La variedad V-526 fue generada por el INIFAP y fue producida para sembrarse en climas cálidos, se utiliza con precipitaciones mayores de 650 mm, tiene un alto margen de adaptación y es muy resistente a pudriciones del grano (INEGI, 1997).

Al igual que en la primera evaluación, la eficiencia relativa de la tierra, el ingreso neto y la eficiencia relativa de la ganancia fue similar en ambas variedades.

## Conclusiones

Es necesario probar otras variedades de frijol o utilizar diferentes fechas de siembra al realizar el cultivo intercalado de maíz y frijol. Es posible obtener buenos rendimientos, eficiencia relativa de la tierra y de la ganancia en sistemas intercalados de maíz a doble hilera.

*End of English version*

## References / Referencias

- Aguilar, J., Illsley, C., y Marielle, C. (2003). Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos. pp. 83-122. En: G. Esteva y C. Marielle (eds.). Sin maíz no hay país. CONACULTA. Ciudad de México.
- Albino G., R., Turrent F., A., Cortés F., J., González E., A., Mendoza C., M., Volke V., H., y Santiago M., H. (2016). Optimización económica de N, P, K y densidades de plantación en maíz y frijol intercalados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 993-1004.
- Albino-Garduño, R., Turrent-Fernández, A., Cortés-Flores, J. I., Livera-Muñoz, M., y Mendoza-Castillo, M. C. (2015). Distribución de raíces y de radiación solar en el dosel de maíz y frijol intercalados. *Agrociencia*, 49(5), 513-531. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952015000500004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000500004&lng=es&tlng=es).
- Andrade F., H. (1995). Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Research*, 41(1), 1-12. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)00107-N](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)00107-N).
- Arias U., Luis M., Figueroa E., y Bendersky, D. (2012). Silo de maíz: híbridos y análisis de costos. Nº 488 Ediciones del

*Fin de la versión en español*

- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Argentina. ISSN Nº 0327-3059. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta\\_silo\\_de\\_maz\\_\\_hbridos\\_y\\_analisis\\_de\\_costos\\_\\_notici.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_silo_de_maz__hbridos_y_analisis_de_costos__notici.pdf)
- Charani, E., Peyman, S., y Aminpanah, H. (2018). The competitive ability of maize (*Zea mays* L.)- common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) intercrops against weeds. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 35: 40-62. [https://www.researchgate.net/publication/323276049\\_The\\_competitive\\_ability\\_of\\_maize\\_Zea\\_mays\\_L\\_-common\\_bean\\_Phaseolus\\_vulgaris\\_L\\_intercrops\\_against\\_weeds](https://www.researchgate.net/publication/323276049_The_competitive_ability_of_maize_Zea_mays_L_-common_bean_Phaseolus_vulgaris_L_intercrops_against_weeds).
- Ebel, R., Pozas C., J. G., Soria M., Florencio, y Cruz G., J. (2017). Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*, 35(2), 149-160. Recuperado en 12 de marzo de 2022, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792017000200149&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792017000200149&lng=es&tlng=es).
- Elizondo S., J. (2011). Influencia de la variedad y altura de cosecha sobre el rendimiento y valor nutritivo de maíz para ensilaje. *Agronomía Costarricense*, 35(2), 105-111. [fecha de Consulta 28 de mayo de 2020]. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=436/43622356009>
- FAO (Agriculture Organization of the United Nations). (2004). Perspectivas por sectores principales. Producción de cultivos. En: Informe World Agriculture: Towards 2015/2030, Disponible en: <https://www.fao.org/3/y3557s/y3557s08.htm>
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. <https://www.igg.unam.mx/geoigg/biblioteca/archivos/memoria/20190917100949.pdf>.
- González T, L. J. (2001). Efecto de diferentes arreglos topológicos de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), sobre el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos y el uso equivalente de la tierra. Universidad Nacional Agraria, Managua (Nicaragua). Facultad de Agronomía. <https://repositoriosidica.csuca.org/Record/RepoUNA1921>
- Guzmán C., G. I., y Mielgo A., A. M. (2008). Buenas prácticas en producción ecológica: Asociaciones y Rotaciones. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. España. 24 pp. [https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/Asociaciones%20y%20Rotaciones\\_tcm30-101334.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/Asociaciones%20y%20Rotaciones_tcm30-101334.pdf).
- Hamd-Alla W., Shalaby El-Salled, Zohry, y Abd El-Hafeez. (2014). Effect of cowpea (*Vigna sinensis* L.) with maize (*Zea mays* L.) intercropping on yield and its components. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Biological, Veterinary, Agricultural and Food Engineering*, 8(11), 1170-1176. [https://www.researchgate.net/publication/331559862\\_Effect\\_of\\_cowpea\\_Vigna\\_sinensis\\_L\\_with\\_maize\\_Zea\\_mays\\_L\\_intercropping\\_on\\_yield\\_and\\_its\\_components](https://www.researchgate.net/publication/331559862_Effect_of_cowpea_Vigna_sinensis_L_with_maize_Zea_mays_L_intercropping_on_yield_and_its_components).
- Hamdollah, E. (2012). Intercropping of maize (*Zea mays* L.) with cowpea (*Vigna sinensis*) and mungbean (*Vigna radiata* L.): effect of intercrop components on resource consumption, dry matter production and legumes forage quality. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 2, 355-360. [https://www.textroad.com/pdf/JBASR/J.%20Basic.%20Appl.%20Sci.%20Res.,%202\(1\)355-360,%202012.pdf](https://www.textroad.com/pdf/JBASR/J.%20Basic.%20Appl.%20Sci.%20Res.,%202(1)355-360,%202012.pdf).
- Hernández, C. N., y Soto, C. F. (2013). Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento. *Cultivos Tropicales*, 34(2), 24-29. Recuperado el día 23 de mayo de 2020, de en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S058-59258-59262013000200004](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S058-59258-59262013000200004)
- INEGI (Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática). (1997). El maíz en el estado de Chiapas. ISBN 970-13-1818-8. [https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/380/702825118532/702825118532\\_1.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/380/702825118532/702825118532_1.pdf).
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias). (2020). Maíz. En: Guía para la Asistencia Agrícola de Nayarit. Disponible en: <http://www.cesix.inifap.gob.mx/guias/MAIZ.pdf>
- Liebman M. (1999). Capítulo 9. Sistemas de policultivos. Pp. 191-202. En: Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan-Comunidad. Montevideo. <http://www.motril.es/fileadmin/areas/medioambiente/ae/IOpolicultivos.pdf>
- López C, C. (2011). Variación en rendimiento de grano, biomasa y número de granos en cebada bajo tres condiciones de humedad del suelo. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(3), 907-918. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-04622011000300017&lng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000300017&lng=es)
- Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Lawrans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., de Tourdonnet, S., y Valantin, M. (2009). Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 43-62. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00886426/document>.
- Mehdi Nassiri Mahallati, Alireza Koocheki, Farzad Mondani, Hassan Feizi, Shahram Amirmoradi (2015). kDetermination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran, *Journal of Cleaner Production*, 106:343-350. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.099>.
- Morales E, J., A., Escalante E., L., Tijerina C., V., Volke, H., y Sosa M. E. (2006). Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol. *Terra latinoamericana*, 24(1), 55-64. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311494007.pdf>.
- Nasir I., Sajad H., Zeeshan A., Feng Y., Xiaochun W., Weiguo L., Taiwan Y., Junbo D., Kai S., Wenyu Y., y Jiang L. (2019). Comparative analysis of maize-soybean strip intercropping systems: a review. *Plant Production Science*, 22(2), 131-142. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2018.1541137>.
- OECD y FAO (Organisation for Economic Co-operation and Development and Food and Agriculture Organization of the United Nations). (2020). Perspectivas Agrícolas 2020-2029. 352 pp. Disponible en: <https://www.oecd-ilibrary.org>.

- org/sites/ecf42a00-es/index.html?itemId=/content/component/ecf42a00-es.
- Ortiz-Torres, E., López, P. A., Gil-Muñoz, A., Guerrero-Rodríguez, J. de D., López-Sánchez, H., Taboada-Gaytán, O. R., y Hernández-Guzmán, J. A. (2013). Rendimiento y calidad de elote en poblaciones nativas de maíz de Tehuacán, Puebla. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(2), 225-238. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.02.006>.
- Rodríguez Larramendi, L., Guevara H., F., Ovando C., J., Marto G., J. R., y Ortiz P., R. (2016). Crecimiento e índice de cosecha de variedades Locales de maíz (*Zea mays* L.) en comunidades de la región Frailesca de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 137-145 <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1404.6967>.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2021). Maíz, el cultivo de México. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-el-cultivo-de-mexico>
- Tóala M, E. (2008). Dinámica de la distribución de la biomasa de híbridos comerciales de maíz. Tesis de licenciatura, Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/2092>.
- Torres C., S., Huaraca F., J., Laura P., D., y Crisóstomo C., R. (2018). Asociación de cultivos, maíz y leguminosas para la conservación de la fertilidad del suelo. *Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 4(1), 15 – 22. [https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri\\_ctd/article/view/1068](https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/1068).
- Vandermeer, J. H. (1989). The ecology of intercropping. Cambridge University Press. Australia. 237 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511623523>.



