



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

**ESTUDIO DE LA ASOCIACIÓN MAÍZ PALOMERO (*Zea mays everta*) Y
FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) COMO ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN
EN TOLUCA, MÉXICO**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA PRESENTA:

DIANA KAREN VELÁZQUEZ GARDUÑO

ASESORES:

**DR. GASPAR ESTRADA CAMPUZANO
DR. CARLOS GUSTAVO MARTÍNEZ RUEDA**

Campus universitario “El cerrillo”, Febrero del 2020

ÍNDICE

	Página
CONTENIDO	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Historia y clasificación del maíz.....	4
2.2 Geografía del maíz palomero.....	7
2.3 Morfología del maíz	8
2.4 Tipo de endospermo del maíz palomero	10
2.5 Cinética de explosión del grano de maíz palomero.....	11
2.6 Requerimiento de humedad para expansión del grano	12
2.7 Historia del frijol.....	13
2.8 Características morfológicas del frijol.....	14

ÍNDICE

	Página
2.9 Fijación biológica de nitrógeno	20
2.10 Limitaciones edáficas y climáticas de <i>Phaseolus vulgaris</i>	21
2.11 Importancia mundial y nacional del frijol.....	23
2.11 Sistemas de producción bajo asociación maíz-frijol	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1 Ubicación del trabajo experimental	27
3.2 Material genético y diseño experimental	28
3.3 Condiciones generales del experimento	30
3.4 Variables de estudio	32
3.4 Análisis estadístico.....	32
IV. RESULTADOS	34
4.1 Condiciones ambientales	34
4.2 Análisis de varianza	34
4.3 Comparación de medias.....	39
V. DISCUSIÓN	50
VI. CONCLUSIONES	55
VII. LITERATURA CITADA	56

ÍNDICE

	Página
VIII. ANEXO	63

INDICE DE CUADROS

Cuadro:	Pág.
1. Poblaciones de maíz Palomero Toluqueño y variedades de frijol, simbología utilizada y tratamientos estudiados	30
2. Distribución de los tratamientos en campo.....	31
3. Valores de F y su significancia estadística de los análisis de varianza para biomasa de maíz palomero en madurez (BiomM), rendimiento de maíz (RendM), índice de cosecha de maíz (ICM), número de granos por mazorca (NGM), peso individual de grano (PIGM), número de mazorcas (NMZ), número de granos por mazorca (NGPMZ) para tres poblaciones de maíz Palomero Toluqueño cultivadas en asociación con tres variedades de frijol, en Toluca, México.....	36
4. Valores de F y su significancia estadística de los análisis de varianza para biomasa de frijol en madurez (biomF), rendimiento de frijol (RendF, índice de cosecha de frijol (ICFM), número de granos por m ² (NGFM), peso individual de grano (PIGFM), número de vainas (NVF), número de granos por vaina (NGPVF) para tres variedades de frijol cultivadas en asociación con tres poblaciones de maíz Palomero Toluqueño, en Toluca, México.	37
5. Comparación de medias para biomasa de maíz palomero en madurez (BiomM), rendimiento de maíz (RendM), índice de cosecha de maíz (ICM), número de granos por mazorca (NGM), peso individual de grano (PIGM), número de mazorcas (NMZ), número de granos por mazorca (NGPMZ) para	

INDICE DE CUADROS

Cuadro:	Pág.
tres poblaciones de maíz Palomero Toluqueño cultivadas en asociación con tres variedades de frijol, en Toluca, México	40
6. Comparación de medias para biomasa de frijol en madurez (biomFM), rendimiento de frijol (RendfM), índice de cosecha de frijol (ICFM), número de granos por m ² (NGFM), peso individual de grano (PIGFM), número de vainas (NVF), número de granos por vaina (NGPVF) para tres variedades de frijol cultivadas en asociación con tres poblaciones de maíz Palomero Toluqueño, en Toluca, México	41

INDICE DE FIGURAS

Figura:	Pág.
1. Distribución geográfica de los maíces palomeros en la República Mexicana (Adaptado de Wellhausen <i>et al.</i> , 1987)	8
2. Esquema de cuatro tipos de hábito de crecimiento en frijol (CIAT, 1984)....	17
3. Parámetros que componen el hábito de crecimiento (CIAT, 1984).	20
4. Condiciones climáticas prevalecientes durante el desarrollo del experimento. E= emergencia, FF= floración de frijol, FM= floración femenina en maíz, A= anthesis en maíz, MF= madurez fisiológica en frijol, MM= madurez fisiológica en maíz.....	35
5. Relaciones entre el rendimiento de grano y biomasa a madurez (a), el índice de cosecha (b), biomasa a madurez de frijol (c) y el índice de cosecha de frijol (d) para tres poblaciones de maíz asociadas con tres variedades de frijol en Toluca, México.	42
6. Relaciones del rendimiento de grano con el número de granos (a), el peso individual de grano (b) en maíz y el número de granos (c), el peso individual de grano (c) para frijol en asociación en Toluca, México.	43
7. Relaciones entre el rendimiento de grano y número de mazorcas (a), el número de granos por mazorca (b), número de vainas (a) y número de granos por vaina (b) para tres poblaciones de maíz asociadas con tres variedades de frijol en Toluca, México.....	44

INDICE DE FIGURAS

Figura:	Pág.
8. Interacción poblaciones de maíz x variedades de frijol para el peso individual de grano de maíz cuando estas crecieron en asociación con frijol en Toluca, México. VF1 = Criollo Huexotla; VF2 = Acerado ICAMEX; VF3 = Rosita 5020. PM1 = Tol-16-2904-14; PM2 = Tol-16-2904-12 Mex-312; PM3 = Tol-15-2903-3 Tlax 88.	45
9. Interacción poblaciones de maíz x variedades de frijol para el peso individual de grano de maíz cuando éstas crecieron en asociación con frijol en Toluca, México. VF1 = Criollo Huexotla; VF2 = Acerado ICAMEX; VF3 = Rosita 5020. PM1 = Tol-16-2904-14; PM2 = Tol-16-2904-12 Mex-312; PM3 = Tol-15-2903-3 Tlax 88.	46
10. Interacción variedades de frijol x poblaciones de maíz para la biomasa a madurez (a) y rendimiento de grano (b) en frijol cuando éstas crecieron en asociación con poblaciones de maíz palomero en Toluca, México. VF1 = Criollo Huexotla; VF2 = Acerado ICAMEX; VF3 = Rosita 5020. PM1 = Tol-16-2904-14; PM2 = Tol-16-2904-12 Mex-312; PM3 = Tol-15-2903-3 Tlax 88.	47
11. Interacción variedades de frijol x poblaciones de maíz para el número de granos por vaina en frijol cuando éstas crecieron en asociación con poblaciones de maíz palomero en Toluca, México. VF1 = Criollo Huexotla; VF2 = Acerado ICAMEX; VF3 = Rosita 5020. PM1 = Tol-16-2904-14; PM2 = Tol-16-2904-12 Mex-312; PM3 = Tol-15-2903-3 Tlax 88.....	49

RESUMEN

ESTUDIO DE LA ASOCIACIÓN MAÍZ PALOMERO (*Zea mays everta*) Y FRIJOL (*Phaseolus vulgaris L.*) COMO ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN EN TOLUCA, MÉXICO

Diana Karen Velázquez Garduño. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Asesores: Dr. Gaspar Estrada Campuzano y Dr. Carlos Gustavo Martínez Rueda

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar el sistema maíz palomero-frijol en asociación y en unicultivo como una alternativa de producción, con tres poblaciones de maíz palomero y tres variedades de frijol. El experimento fue conducido durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2017, en la Facultad de Ciencias Agrícolas, ubicada en el Campus Universitario “El Cerrillo”, de la Universidad Autónoma del Estado de México, bajo condiciones de temporal y en buenas condiciones de manejo agronómico. Los tratamientos (arreglo factorial de 3 poblaciones de maíz y 3 variedades de frijol) fueron establecidos en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se observó variabilidad fenotípica en el comportamiento de ambas especies. Para el caso, de las poblaciones de maíz se encontraron efectos significativos para biomasa, rendimiento de grano, peso individual de grano e índice de cosecha. En frijol se detectaron efectos significativos para biomasa, rendimiento, índice de cosecha, número de granos y peso individual de grano. Por lo que respecta al rendimiento de grano las poblaciones Tol-16-2904-14 y Tol-15-2903-3 superaron en promedio a la población Tol-16-2904-12 cuando se asociaron con las variedades de frijol. Al analizar el rendimiento de grano de las poblaciones de maíz y variedades de frijol, se pudo apreciar que las variaciones observadas en el rendimiento del grano fueron explicadas en mayor medida por cambios en el índice de cosecha y no por la producción de biomasa. El rendimiento de grano de las variedades de frijol estuvo determinado principalmente por el número de granos y no por el número de vainas.

Palabras clave: maíz palomero, frijol, asociación, rendimiento de grano

ABSTRACT

STUDY OF POPCORN (*Zea mays everta*) AND BEANS (*Phaseolus vulgaris* L.)
CROPPING AS AN ALTERNATIVE OF PRODUCTION IN TOLUCA, MEXICO

Diana Karen Velázquez Garduño. Ingeniero Agrónomo Fitotecnista.
Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas.

Advisors: Dr. Gaspar Estrada Campuzano, and Dr. Carlos Gustavo Martínez Rueda.

The present work was carried out with the objective of evaluating the behavior of the popcorn-bean cropping system and uniculture as a production alternative, with 3 populations of popcorn and three bean varieties. The experiment was conducted during the spring-summer crop cycle 2017, at the Faculty of Agricultural Sciences located in the University campus "El Cerrillo" of the Autonomous University of the State of Mexico, under rainfall conditions and in good conditions of agronomic management. Treatments (factorial arrangement of 3 maize populations and 3 bean varieties) were established in a randomized complete block design with three replications. Phenotypic variability was observed in the behavior of both species. For example, popcorn populations showed significant effects for the variables biomass, grain yield, individual grain weight and harvest index. In beans, significant effects were observed for biomass, yield, harvest index, number of grains and individual weight of grains. In terms of grain yield, the Tol-16-2904-14 and Tol-15-2903-3 populations exceeded the Tol-16-2904-12 population when they were associated with the bean varieties. When analyzing the grain yield of all maize and bean varieties in the present work, it was observed that the changes observed in the grain yield were better explained by changes in the harvest index and not by the production of biomass. The changes in grain yield of the bean varieties were mainly associated with grain number of beans and not with the number of pods.

Key words: popcorn, beans, cropping system, grain yield

I. INTRODUCCION

Los maíces de México son de un interés extraordinario desde varios puntos de vista. En ningún otro país de América el maíz ha llegado a convertirse en la base social y económica del pueblo, como en México. Que el maíz se haya originado en México, es una cuestión que sigue en debate, pero sin lugar a dudas el maíz es una planta de gran antigüedad en esta región (Wellhausen *et al.*, 1949). Las razas indígenas antiguas del maíz primitivo tunicado son aquellas que se cree que se originaron en México, reliquias las cuales fueron descubiertas en Nuevo México. Las diversas razas de este grupo difieren una de otra como consecuencia de su desarrollo aislado en diferentes localidades y ambientes, pero como se han originado del mismo ancestro sin hibridación aún mantienen muchos caracteres en común.

Actualmente, se reconocen cuatro de estas razas: Palomero Toluqueño, Arrocillo Amarillo, Chapalote y Nal-Tel; todas estas, así como el progenitor primitivo, son maíces reventadores o palomeros y Chapalote y Nel-Tel, son formas de maíz tunicado. Todas tienen mazorcas pequeñas, y son relativamente precoces. El Palomero Toluqueño y el Arrocillo amarillo han sido encontrados únicamente en lugares muy altos (más de 2000 msnm), mientras que las otras dos razas se localizan en las regiones tropicales a casi 100 msnm.

Las variedades antiguas son menos sensibles a los cambios ambientales que los tipos más modernos, cuando menos los relacionados con la altitud, (Wellhausen *et al.*, 1949). Una de las formas en que se cultiva maíz y frijol voluble trepador, es en asociación y consiste en la siembra simultánea de las dos especies en el mismo sitio durante el mismo ciclo, en proporciones de dos

a seis plantas de maíz y una a cuatro de frijol, en donde el maíz sirve de soporte para el crecimiento del frijol, con arreglos espaciales en cuadro, surcos o triángulo, con distancias entre 1,2 y 0,8 m. La principal característica de la asociación maíz-frijol es que, si bien, los rendimientos de cada especie son menores a los logrados en el correspondiente unicultivo, la combinación de ambos rendimientos es mayor por unidad de área, siendo más eficiente en el uso de recursos ambientales (agua, nutrientes y luz), y económicos (mano de obra-insumos y tierra) (Vélez *et al.*, 2007). Los cultivos en asociación se practican desde tiempos inmemorables; la utilización de leguminosas como son, trébol, chícharo, frijol, etc., en rotación con el maíz y otros cultivos se conoce desde hace muchos años, y en la actualidad se reconoce como una de las técnicas agrícolas más eficaces para la conservación de suelo (Vélez *et al.*, 2007). La asociación de cultivos permite aprovechar la máxima capacidad productiva de los suelos y demás factores (Wellhausen *et al.*, 1987). Lepiz (1978) menciona que la asociación maíz-frijol es un sistema de agricultura tradicional desarrollada a partir de una estrategia productiva y no de producción, donde se generan valores de uso indispensable en la economía familiar. A la fecha no existen evidencias de trabajos de asociación maíz palomero-frijol como una alternativa de producción en la cual los agricultores cuenten con dos fuentes de comercialización y consumo, en el caso del frijol es un alimento básico, así como esencial para las familias, con respecto al maíz palomero es una fuente económica y de poco consumo. Con base en lo anterior los objetivos del presente trabajo fueron: i) Identificar poblaciones de maíz palomero más adecuadas para la asociación maíz-frijol, y ii) Identificar la

o las variedades de frijol menos competitivas con el maíz palomero y determinar y cuantificar el rendimiento individual y conjunto de ambas especies.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Historia y clasificación del maíz palomero

La derivación de “maíz palomero” es el nombre empleado comúnmente para los maíces reventadores de la Mesa Central que producen “palomitas” o “rosetas” cuando se expone a elevadas temperaturas. Dicho nombre fue asignado por Wellhausen *et al.* (1949) al sumar el nombre común de toluqueño al maíz “palomero”. Este autor, desconoce el origen del nombre “palomero”, aunque nosotros lo discutiremos con sus características, las variedades de maíz de México pueden dividirse en cinco grupos principales de acuerdo la siguiente forma:

- a) Indígenas antiguas
- b) Exóticas precolombinas
- c) Mestizas prehistóricas
- d) Modernas incipientes, y un grupo adicional que da cabida a las
- e) Variedades no bien definidas (Wellhausen *et al.*, 1949).

En ciertas épocas de la historia del cultivo del maíz en México se ha registrado la influencia de variedades exóticas de países del sur, que, por la diversidad geográfica de nuestro país, ayudó a su rápida diferenciación (Wellhausen *et al.*, 1949).

Razas indígenas antiguas

Se cree que se originaron en México del maíz primitivo tunicado. La posibilidad de que el maíz se haya derivado directamente del “teocintle” queda casi

descartada en la actualidad, como resultado de los datos obtenidos recientemente sobre el maíz prehistórico descubierto en el estado de Nuevo México. Este material, descrito por (Mangelsdorf y Smith (1949), demuestra que el maíz primitivo fue un maíz tunicado y no un derivado del “teocintle”. Actualmente se reconocen cuatro de estas razas: Palomero Toluqueño, Arrocillo Amarillo, “Chapalote” y Nal-Tel, todas estas como el progenitor, son maíces reventadores o palomeros.

Palomero Toluqueño.

Planta: muy cortas, aproximadamente 1,7 m de altura; precoces con pocos macollos, pero estos de la misma altura que el tallo principal; gran tendencia al acame debido al pobre desarrollo del sistema radicular; pocas hojas un promedio de 12,2 por planta, caídas, angostas y cortas pero relativamente largas en proporción a su anchura: índice de venación bajo; con color rojo sol y pubescencia; muy resistentes a *Puccinia sorghi*; número de nudos cromosómico bajo, variando de 0 a 4, promedio 1.2 adaptado en México a altitudes elevadas únicamente, de 2200 a 2800 msnm.

Distribución: Actualmente es una raza de altitudes estrictamente elevadas; casi ha desaparecido en su forma pura. Se encuentra en el estado de México, principalmente en Toluca y San Mateo Atenco y tres cumbres, en el estado de Morelos (Wellhausen *et al.*, 1949).

Sub-razas del Palomero Toluqueño. Se reconocen dos sub-razas del palomero toluqueño; el Palomero Poblano y el Palomero Jalisciense. El Palomero Poblano se encontró en una zona restringida cerca de Xalapa,

Puebla, entre 2,200 y 2,400 msnm, tiene granos más suaves que el Palomero Toluqueño y más puntiagudos; el Palomero Jalisciense se encontró primordialmente en la región al sur de Jalisco y en las laderas del volcán de Colima, entre 2,600 y 2,700 msnm. Es un poco más vigoroso, tiene un sistema radicular más fuerte y de mayor periodo vegetativo que el Palomero Toluqueño, mazorcas menos cónicas (Romero *et al.*, 2005).

Arrocillo amarillo. Plantas aun no estudiadas bajo cultivo, adaptado a altitudes de 1,600 a 2,000 msnm; distribución, el noroeste de Puebla y norte del estado de Tlaxcala. Mazorcas cortas, cónicas, con grano de color amarillo (Wellhausen *et al.*, 1949).

Chapalote. Plantas cortas con altura media aproximadamente de 1.6 m en la Universidad Autónoma Chapingo, México; un poco más altas en su región nativa; precoces con abundante "ahijamiento"; tallos delgados; número mediano de hojas, angostas y alargadas; índice de venación más bajo que todas las razas; color y pubescencia casi totalmente ausentes; susceptible a las razas de *Puccinia sorghi* que prevalecen en la Mesa Central de México. Un promedio de seis nudos cromosómicos. Se adapta mejor a altitudes bajas, pero produce mazorcas regulares en regiones hasta de 1,800 msnm. Distribución: El Chapalote se ha encontrado únicamente en las llanuras costeras de los estados de Sinaloa y Sonora en el noroeste de México. Fue colectada cerca de Culiacán, Sinaloa y en Sahuaripa, Suaqui, Ures y Moctezuma en el estado de Sonora, a elevaciones de 100 a 600 m aproximadamente (Wellhausen *et al.*, 1949).

Nal-Tel. Plantas cortas aproximadamente de 1.5 a 2 msnm en su hábitat natural; precoces con ninguno o muy pocos macollos; promedio de hojas, 12; índice de venación, mediano; algo de color y pubescencia; actualmente susceptible a las razas de chahuixtle (*Puccinia sorghi*) que prevalecen en la mesa central de México. Promedio de nudos cromosómicos 5.5, se adapta mejor a altitudes bajas (Wellhausen *et al.*, 1949). Distribución: el Nal-Tel se adapta mejor a las altitudes bajas de 100 msnm, pero produce mazorcas relativamente normales hasta alturas de 1,800 msnm. Se ha encontrado principalmente en el estado de Yucatán (Wellhausen *et al.*, 1949).

2.2. Distribución geográfica del maíz palomero

Los maíces palomeros se cultivan en los estados de Sinaloa, Sonora, Jalisco, San Luis Potosí, Estado de México, Puebla, Tlaxcala, Yucatán, Campeche, Oaxaca y Guerrero (Figura 1).

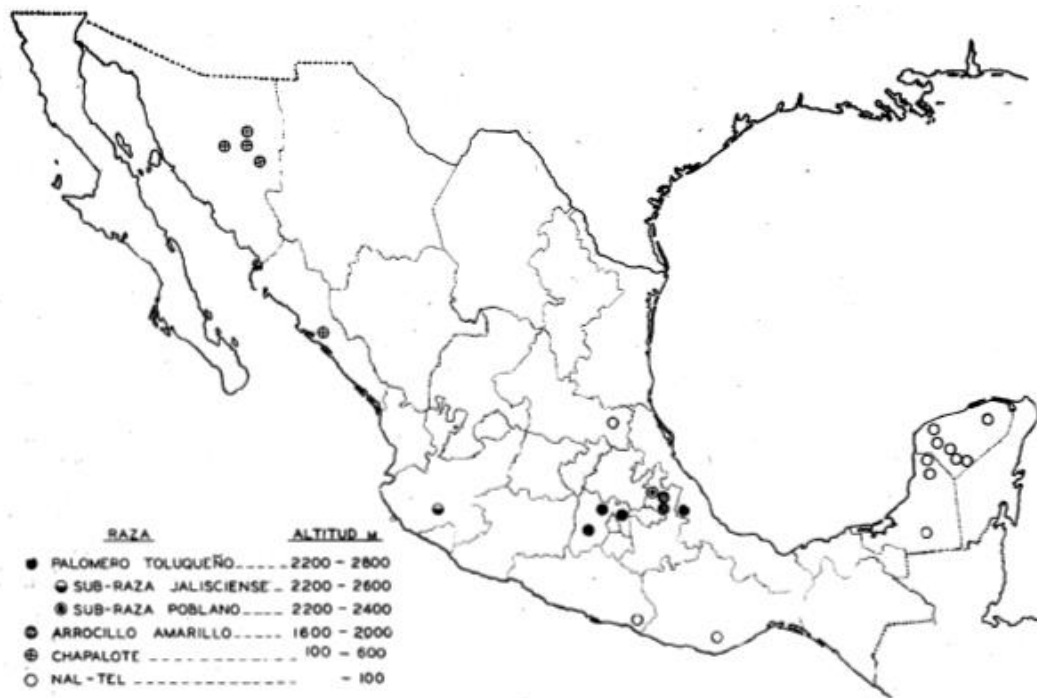


Figura 1. Distribución geográfica de los maíces palomeros en la República Mexicana (Adaptado de Wellhausen *et al.*, 1949)

2.3. Morfología del maíz palomero

El maíz es una planta herbácea anual, cuyo ciclo vegetativo puede variar entre 80 y 200 días, desde maíces ultra precoces hasta ultra tardíos. Con respecto a la morfología de la planta de maíz, Valladares (2010), menciona lo siguiente:

Planta: existen variedades enanas de 40-60cm de altura y también gigantes que alcanzan hasta 5 m, con un diámetro de tallo de 1.5-4.0 cm.

Sistema radicular: fasciculado de gran potencia y desarrollo rápido. A nivel seminal se compone de 1-4 raíces que dejan de funcionar dando origen al embrión. Las raíces adventicias, ocupan casi toda la totalidad del sistema, alcanzando hasta 2 m de profundidad cuando la humedad del suelo se mantiene en condiciones óptimas. Las raíces de soporte se originan en los nudos basales para una mayor estabilidad de la planta y participan también en

el proceso fotosintético y al final las raíces aéreas no alcanzan la superficie del suelo.

Hojas: son largas, anchas con aurículas con bordes generalmente lisos y recubiertos de una ligera pilosidad que les confiere un tacto áspero. Los limbos pueden llegar a medir hasta un metro de longitud con 20 cm de ancho en hojas bien desarrolladas. Las hojas presentan vaina foliar (ligulada) pronunciada, cilíndrica en su parte inferior y que cubre a los entrenudos del tallo, con los extremos desnudos, su color usual es verde, pero se pueden hallar rayadas en blanco y verde o verde y púrpura.

Sistema floral: la inflorescencia masculina se encuentra en la parte apical del tallo agrupadas por panículas donde se produce el polen el cual es arrastrado por el viento hasta caer sobre los estigmas y crece a través de los estilos que alcanza los ovarios donde ocurrirá la fecundación. Las yemas de la inflorescencia femenina se localizan en la base de los entrenudos del tallo, se llegan a formar de 1-3 elotes que contienen los ovarios que a su vez se convertirán en granos.

Fruto: son granos o cariósides que se encuentran a razón de 600-1000 por mazorca, dispuestos en hileras en el olote, con un promedio de 14 y pueden ser dentados o semidentados, también cristalinos u opacos, dependiendo de la variedad; en cuanto a su color destacan los maíces blancos y los amarillos (mayor contenido de caroteno), los cuales son preferidos por la agroindustria. En el caso de una mazorca de maíz palomero llegan a tener un promedio de 1000 semillas, las cuales pueden llegar a pesar hasta más de 120 mg por grano.

2.4. Tipo de endospermo del maíz palomero

Tochihuitl et al. (2003) indicaron que el maíz palomero posee granos pequeños con un endospermo muy denso o vítreo sin espacios aéreos envuelto por un pericarpio grueso y resistente, donde las células del endospermo presentan básicamente cuatro estructuras: i) paredes celulares, ii) gránulos de almidón, iii) matriz y cuerpos proteicos. Las paredes celulares son delgadas y encierran a los demás componentes. En ellas hay un alto contenido de fibra insoluble y soluble. Los gránulos de almidón ocupan la mayor parte del espacio celular y están rodeados y separados por la matriz proteica que sirve como pegamento para mantener la estructura interna de la célula. Los cuerpos proteicos son redondos y muy pequeños si se comparan con las unidades de almidón, los cuales están dispersos en el espacio celular y en su mayoría incrustado en la membrana de los gránulos de almidón, cuanto mayor es la fuerza de adhesión entre almidón y proteína, mayor es la dureza del endospermo. Los gránulos de almidón, de forma poliédrica, se mantienen unidos unos a otros con una matriz proteica y con presencia de cuerpos proteicos. Esta estructura tiene una apariencia vítrea y translúcida debido a que la luz no es difractada cuando pasa a través del endospermo. Narváez et al. (2006) reportaron que los gránulos de almidón del endospermo suave son principalmente esféricos y débilmente empaquetados en una matriz, mientras que los de maíz duro son poligonales y altamente empaquetados. Villanueva (2008) señala que, la adherencia entre la proteína y el almidón es suficientemente fuerte para apretar los gránulos más y más unos contra otros, por lo que la proteína pierde agua y se encoge, ya que, en esta etapa, los granos de almidón son flexibles y al ser fuertemente comprimidos adquieren forma poliédrica.

Fassio et al. (2000) mencionaron que el almidón es un polisacárido formado por dos polímeros de glucosa de alto peso molecular: amilosa y amilopectina. La amilosa constituye normalmente con 24-27% de almidón de maíz y la amilopectina conforma el 73-76% restante. En la amilosa las moléculas de D-glucosa están unidas entre sí por enlaces α -(1-4) y se extiende formando cadenas lineales con enlaces α -(1-4), presentan ramificaciones en las que la glucosa se encuentra unida por enlaces α -(1-6); lo que hace que su disposición espacial sea compleja, además indicaron que los cultivares de endospermo duro presentan significativamente mayor porcentaje de amilosa que los de blando (87.1% vs 84.2%). Sin embargo, las proteínas serían el único componente del endospermo vinculado a la vitrosidad del endospermo.

2.5. Cinética de explosión del grano de maíz palomero

Villanueva (2008) reportó que el grano del maíz palomero al ser calentado actúa como una olla a presión, donde el pericarpio encierra el contenido del grano (almidón y agua, principalmente). A alta temperatura, el agua está tanto en la forma de vapor como en la forma sobrecalentada. La explosión ocurre cuando la presión acuosa interna del vapor excede la suma de la presión de la explosión del pericarpio y la presión atmosférica. Esto ocurre a una temperatura interna del grano entre 180°C y 190°C. A esta temperatura el almidón se encuentra fundido. Cuando el pericarpio se quiebra, el agua sobrecalentada se expande rápidamente (en menos de 1/15 de segundo), causando que el almidón fundido se expanda y resulte en un producto liviano, blando y comestible. Al momento de reventar, el grano de maíz palomero

expande su volumen hasta 30 a 35 veces su tamaño original. El grado de expansión está relacionado con la cantidad de endosperma translucido presente en el grano. En el endospermo translucido (compacto) el agua se vaporiza hacia los hilos de los gránulos de almidón y expande los gránulos. La calidad de maíz reventador se define por factores como el volumen expandido, la forma de los granos reventados, los granos que quedan sin reventar, la textura y por su puesto el sabor. Su grado de expansión es particularmente importante, porque este maíz se compra por peso y generalmente su venta se hace por volumen, lo que incrementa en gran medida su valor comercial. Su textura se correlaciona positivamente con el volumen expandido.

2.6. Requerimiento de humedad para expansión del grano

El porcentaje de humedad del grano es un factor muy importante que influye en la cantidad de granos que revientan y también en su volumen de expansión. Generalmente el grano tiene un buen comportamiento cuando contiene de 12 – 13% de humedad, sin embargo, a nivel comercial se ha estimado el contenido de humedad de maíz palomero de 11.94% (Martínez, 2006), por otra parte, para lograr obtener la máxima expansión en la palomita de maíz, la humedad debe ser del 13 al 14.5%; pero 13.5% es lo ideal (Serna, 1999). Si contiene menos de este porcentaje de humedad la expansión de maíz se reduce. El producto ya expandido contiene menos de 3% de humedad, por lo que las palomitas son muy higroscópicas ya que absorben humedad hasta en ambientes con 20% de humedad relativa. Por consiguiente, es preciso empacarlas inmediatamente para impedir pérdidas en calidad y textura.

Debido a que el almacenamiento y manejo pueden afectar el contenido de humedad, los paquetes abiertos de grano de maíz deben ser almacenados en

contenedores herméticos hasta no ser usados. No debe almacenarse el maíz para palomitas en el refrigerador ya que el aire dentro de este contiene muy poca humedad y podría reseca el grano.

2.7. Historia del frijol

En frijol la domesticación redujo la diversidad genética por un fenómeno llamado “cuello de botella de la domesticación”, que consiste en la reducción de la diversidad genética de la población en comparación con su ancestro, debido al pequeño número de individuos que fundaron las poblaciones domesticadas (efecto fundador) (Ladizinsky, 1998). y la posterior selección con base en características particulares que redujeron aún más la diversidad genética de loci específicos y regiones genómicas circundantes (Lara, 2015).

En el género *Phaseolus* se encuentran cinco especies domesticadas: *P. vulgaris* (frijol común), *P. lunatus* (frijol lima), *P. acutifolius* (frijol tépari), *P. coccineus ssp. coccineus* (frijol ayocote) y *P. dumosus = P. polyanthus (=P. coccineus subsp. darwinianus)* (frijol de año). Los primeros trabajos sobre el origen y evolución del frijol se remontan a Miranda-Colín (1967) y Gentry (1969), quienes afirmaron que la forma silvestre de frijol se encuentra en Mesoamérica. Posteriormente, se han propuesto centros de origen y domesticación alternativos que trabajos sucesivos han ratificado o rectificado (Kwak *et al.*, 2009)

El frijol es un cultivo que ha sido recalcitrante a la transformación y regeneración. Esto ha detenido el avance de elementos genéticos que definen mejores características agronómicas como lo es la resistencia a factores de

estrés abiótico y resistencia a enfermedades, causadas por hongos, bacterias y otros patógenos.

La ventaja que tienen las leguminosas como frijol, es su capacidad de desarrollar simbiosis fijadoras de nitrógeno con bacterias del suelo; además de reducir de manera significativa la utilización de fertilizantes nitrogenados y favorece la recuperación de la fertilidad del suelo, estableciendo ecosistemas más productivos y sustentables (Lara, 2015).

2.8. Características morfológicas del frijol

La morfología del frijol está relacionada con caracteres constantes (taxonomía, rasgos particulares de la variedad) y caracteres variables (afectados por el genotipo, el ambiente y su interacción).

Raíz: El desarrollo radical inicia en la radícula del embrión que posteriormente se convierte en la raíz principal, las raíces secundarias se desarrollan después de que haya salido la raíz principal, las raíces terciarias aparecen en las raíces secundarias. En general el sistema radical es superficial ya que el mayor volumen de raíz se encuentra en los primeros 20 cm de profundidad del suelo.

Como miembro de la subfamilia *Papilionoidae*, *Phaseolus vulgaris* L. Presenta nódulos en las raíces laterales de la parte superior y media del sistema radical, estos son colonizados por bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico.

Tallo: El tallo es identificado por el eje central de la planta el cual está formado por una sucesión de nudos y entrenudos. Se origina a partir del sistema apical del embrión de la semilla.

El tallo es herbáceo y con sección cilíndrica, debido a pequeñas corrugaciones de la epidermis.

Ramas y complejos axilares

Las ramas se desarrollan a partir de un complejo de yemas axilares formadas por el pulvínulo de la hoja y el tallo o rama; también en la inserción de los cotiledones.

Una rama en sus primeros estados de desarrollo se puede distinguir porque las estípulas de su primera hoja trifoliada cubren casi totalmente dicha estructura. Estas estípulas tienen forma triangular y aplanada; además son visibles los ápices de los folíolos de dicha hoja.

De este complejo axilar, además de ramas se pueden desarrollar otras estructuras como las inflorescencias; el promedio de ramas y/o inflorescencias depende del hábito de crecimiento y de la parte considerada de la planta.

Hojas: Las hojas del frijol son simples y compuestas. Están insertadas en los nudos del tallo y las ramas. En dichos nudos siempre se encuentran estípulas que constituyen un carácter importante de la sistemática de las leguminosas.

Las hojas compuestas trifoliadas son las hojas típicas del frijol.

Inflorescencia: Las inflorescencias pueden ser axilares o terminales, se considera un tipo de inflorescencia racimos de racimos. En la inflorescencia se pueden distinguir tres componentes principales: el eje de la inflorescencia que se compone del pedúnculo y el raquis, las brácteas y los botones florales.

Flor: Es una típica flor papilionácea, en el proceso de desarrollo de dicha flor se puede distinguir dos estados, el botón floral y la flor completamente abierta (CIAT, 1984).

Tipo de hábito de crecimiento: Este concepto morfo-agronómico puede ser definido como el resultado de la interacción de varios caracteres de la planta que determinan su arquitectura final. Debido a que algunos de estos caracteres son influenciados por el ambiente, el hábito de crecimiento puede ser afectado por éste. Los principales caracteres morfoagronómicos que ayudan a determinar el hábito de crecimiento son:

- El tipo de desarrollo de la parte terminal del tallo: determinado o indeterminado.
- El número de nudos.
- La longitud de los entrenudos y, en consecuencia, la altura de la planta.
- La aptitud para trepar.
- El grado y tipo de ramificación. Es necesario incluir el concepto de guía definida como la parte del tallo o de las ramas que sobresale por encima del follaje del cultivo (Arias *et al.*, 2007) (Figura 2).

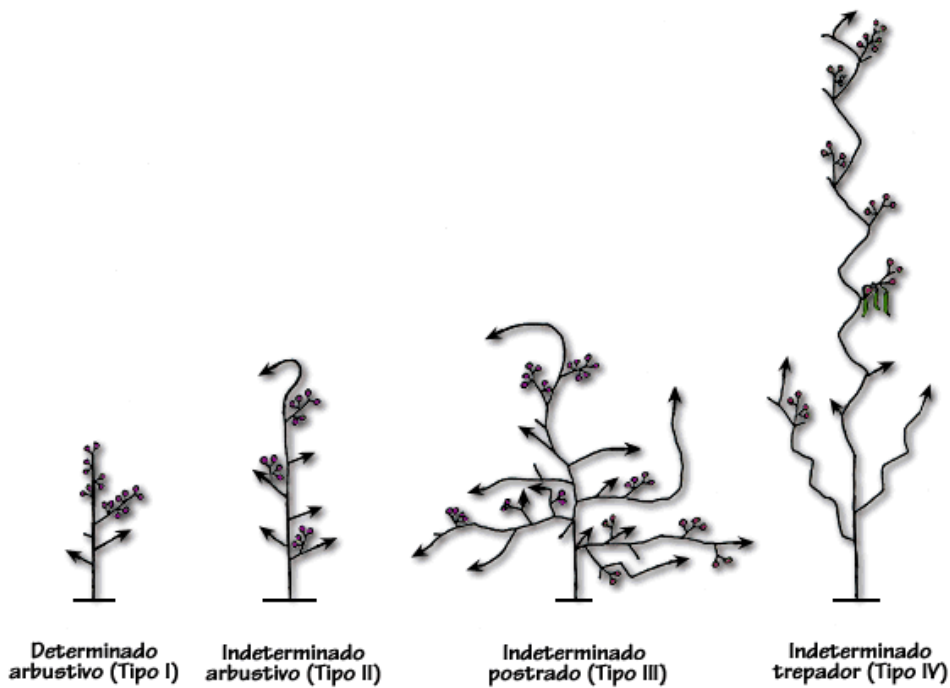


Figura 2. Esquema de cuatro tipos de hábito de crecimiento en frijol (CIAT, 1984).

Tipo I: hábito de crecimiento determinado arbustivo, con las siguientes características:

- El tallo y las ramas terminan en una inflorescencia desarrollada.
- En general, el tallo es fuerte, con un bajo número de entrenudos, de cinco a diez, normalmente cortos.
- La altura puede variar entre 30 y 50 cm; sin embargo, hay casos de plantas enanas, más cortas.
- La etapa de floración es corta y la madurez de todas las vainas ocurre casi al mismo tiempo.

Tipo II: hábito de crecimiento indeterminado arbustivo, con las siguientes características:

- Tallo erecto sin aptitud para trepar, aunque termina en una guía corta. Las ramas no producen guías.
- Pocas ramas, pero con un número superior al tipo I, y generalmente cortas con respecto al tallo.
- El número de nudos del tallo es superior al de las plantas del tipo I, generalmente más de 12.
- Como todas las plantas de hábito de crecimiento indeterminado, éstas continúan creciendo durante la etapa de floración, aunque a un ritmo menor.

Tipo III: hábito de crecimiento indeterminado postrado, cuyas plantas presentan las siguientes características:

- Plantas postradas o semipostradas con ramificación bien desarrollada.
- La altura de las plantas es superior a la de las plantas del tipo I, generalmente mayor a 80 cm.
- El número de nudos del tallo y de las ramas es superior al de los tipos I y II; así mismo, la longitud de los entrenudos, y tanto el tallo como las ramas terminan en guías.
- El desarrollo del tallo y el grado de ramificación originan variaciones en la arquitectura de la planta. Algunas plantas son postradas desde las primeras etapas de la fase vegetativa; otras son arbustivas hasta prefloración y luego son postradas. Pueden presentar aptitud trepadora.

Tipo IV: hábito de crecimiento indeterminado trepador. Se considera que las plantas de este tipo son las del típico hábito trepador. Poseen las siguientes características:

- A partir de la primera hoja trifoliada, el tallo desarrolla la doble capacidad de torsión, lo que se traduce en su habilidad trepadora.
- Las ramas muy poco desarrolladas a causa de su dominancia apical.
- El tallo, el cual puede tener de 20 a 30 nudos, puede alcanzar más de 2 m de altura con un soporte adecuado.
- La etapa de floración es significativamente más larga que la de los otros hábitos, de tal manera que en la planta se presentan, a un mismo tiempo, la etapa de floración, la formación de las vainas, el llenado de las vainas y la maduración.

Algunos de los parámetros que componen el hábito de crecimiento han evolucionado, por ejemplo, en el tipo de ramificación, debido a la selección de fenotipos adecuados a necesidades locales o regionales. Ésto ha dado origen a sub-clasificaciones, como:

- a) Entre los tipos III existen aquellos totalmente postrados denominados III a, mientras que otros tienen el tallo y las ramas con aptitud trepadora, aunque no muy desarrollada, y se denominan III.
- b) En los tipos IV se hacen subdivisiones según la distribución de las vainas en la planta. Así, cuando las vainas se distribuyen uniformemente a lo largo de la planta, se denomina IV a, y si las vainas se concentran en la parte superior de la planta, se denomina IV b (Figura 3) (CIAT, 1984).

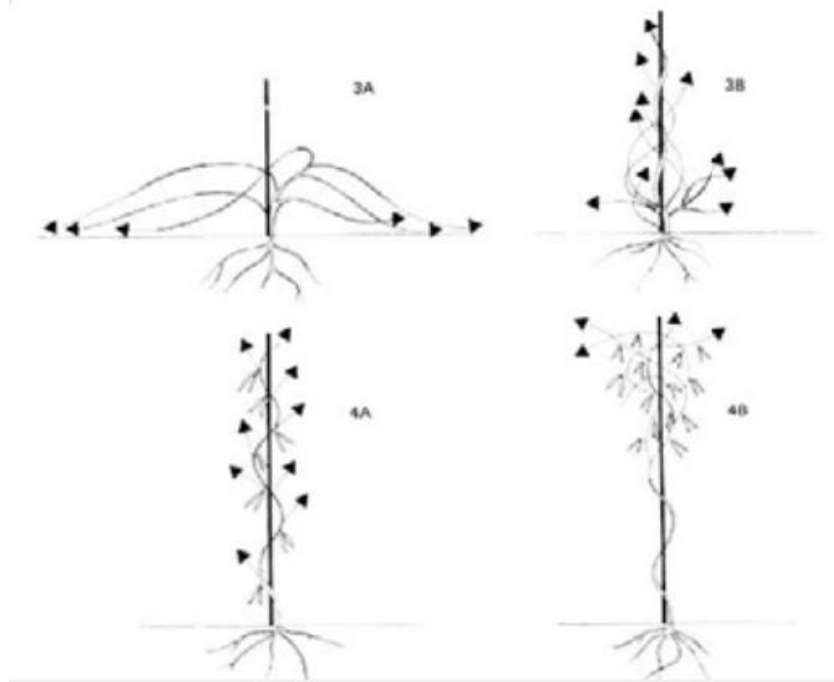


Figura 3. Parámetros que componen el hábito de crecimiento (CIAT, 1984).

2.9 Fijación biológica de nitrógeno

Como todas las leguminosas, el frijol tiene la capacidad de asociarse a bacterias del suelo llamadas *rhizobia* (singular *Rhizobium*). Dicha asociación comprende a la mayoría de las 18,000 especies de leguminosas y resulta en una simbiosis fijadora de nitrógeno de importancia ecológica que aporta, anualmente, una cuarta parte del nitrógeno fijado en la biósfera. En las raíces de la planta, la bacteria induce la formación de un órgano denominado nódulo, dentro del cual ésta se establece de forma intracelular. En estas condiciones, la bacteria es capaz de convertir el N_2 atmosférico en amonio NH_4^+ , el cual constituye la fuente de nitrógeno que permite el crecimiento de las plantas. Estas asociaciones simbióticas fertilizan el suelo y se calcula que incorporan anualmente de 60 a 120 kg de nitrógeno por hectárea. Tradicionalmente y desde hace cientos de años, el agricultor mexicano ha sembrado en sus

chinampas y milpas, de forma combinada, frijol y maíz. El tallo del maíz sirve de sostén a la enredadera del frijol y éste, a su vez, fertiliza el suelo favoreciendo una mayor producción de este. Este ecosistema (la milpa), en donde tradicionalmente se siembra maíz, frijol y calabaza, además de chile y tomate, constituye un modelo de agricultura ecológica el cual favorece un control biológico de insectos además de la ya referida fijación biológica de nitrógeno. Las características nutricionales de cada uno de estos cultivos, sumados, producen una dieta equilibrada (Lara, 2015).

Cabe destacar que el vínculo cereal-leguminosa ha sido la base de la alimentación de las grandes culturas: en Mesoamérica, el maíz y el frijol; para las del occidente de Asia y Europa, el *Triticum* con *Cicer arietinum* o la *Lens Culinaris* y para las culturas asiáticas, el *Oryza sativa* con la *Glycine max* (Lara, 2015).

2.10 Limitaciones edáficas y climáticas de *phaseolus vulgaris*

El frijol (común) es afectado por más microorganismos fitopatógenos y sus aislamientos son más virulentos en las regiones tropicales que en las templadas. La incidencia y el daño ocasionado por los patógenos varía significativamente entre estaciones y de un año a otro; por consiguiente, es difícil obtener la información económica necesaria para clasificarlos de acuerdo con un orden de prioridad. Varios patógenos se encuentran restringidos a ciertas regiones productoras cuyos factores ambientales específicos son apropiados para su supervivencia y multiplicación; otros están difundidos a lo largo y ancho de América Latina y en diversas regiones del mundo. Existen otros patógenos e insectos que pueden ser importantes en ciertas regiones

específicas de producción, pero que no disminuyen significativamente la producción total de frijol en América Latina.

Como es muy poco probable que se pueda incorporar de inmediato resistencia a todos los patógenos principales en las variedades comerciales más aceptadas, se recomienda agruparlos al fin de determinar prioridades para sistemas específicos de producción. El complejo de enfermedades que con más frecuencia reduce los rendimientos del frijol en zonas frías son el *Bean Common Mosaic*, *Uromyces appendiculatus*, *Colletotrichum lindemuthianum*, *Phaeoisariopsis griseola*, *Macrophomina phaseolina* y *Xantomonas campestris pv phaseoli*. La merma en la producción de este cultivo en los climas templados a cálidos, relativamente secos, se debe a la combinación del *Macrophomina phaseolina*, *Bean Golden Yellow Mosaic*, *Uromyces appendiculatus*, *Phaeoisariopsis griseola*, *Macrophomina phaseolina*, y *Xantomonas campestris pv phaseoli*; y en los climas templados a cálidos, relativamente húmedos, obedece a *Thanatephorus cucumeris*, *Macrophomina phaseolina* y *Xantomonas campestris pv phaseoli*. Sin embargo, no es raro encontrar regiones productoras de frijol cuyas condiciones favorecen epidemias del *Xantomonas campestris pv phaseoli*, *Colletotrichum lindemuthianum*, *Thanatephorus cucumeris* y otras enfermedades, ya sea simultáneamente o durante diferentes etapas del ciclo de producción.

Las enfermedades como la *Thanatephorus cucumeris*, *Xantomonas campestris pv phaseoli* y *Bean Golden Yellow Mosaic* han sido factores decisivos en el desarrollo de reglamentaciones sobre la producción del frijol en toda América Latina. *Thanatephorus cucumeris* y *Xantomonas campestris pv phaseoli* son enfermedades muy importantes en las regiones relativamente

cálidas y húmedas, en donde constituyen factores limitantes de la producción. El virus del mosaico dorado del frijol ha sido una enfermedad devastadora en algunas partes de Brasil, América Central, el Caribe y México (Howard et al., 1980).

2.11 Importancia mundial y nacional del frijol

El promedio mundial de producción de frijol en el periodo 2000 al 2010 fue de 1.27 t/ha. En México el rendimiento promedio fue de 0.8 tha^{-1} , y sólo siete estados tienen un rendimiento mayor (1.5 tha^{-1}). Estos estados son Morelos, Nayarit, Michoacán, Sonora, Baja California Sur y Colima (Lara, 2015).

Una de las posibles causas de la reducción de producción de frijol en México es el hecho de que actualmente su precio está sujeto al mercado libre y las fronteras están abiertas a la importación. En este marco donde México es deficitario, el mercado se satura con el producto y el cultivo se vuelve poco rentable para su producción.

Debido a su alta disponibilidad y bajo costo tanto a nivel nacional como regional en México se cultivan alrededor de 70 variedades que se distribuyen en siete grupos: negro, amarillo, blanco, morado, bayo, pinto y moteado (Lara, 2015).

2.12 Sistemas de producción bajo asociación maíz-frijol

Según Mejía-Zavaleta (1999) la asociación de cultivos es una forma de policultivo usada por la agricultura tradicional, ecológica y la permacultura. (Muñoz, 2018) afirma que es una de las técnicas más efectivas de la agricultura ecológica, que consiste en plantar dos o más especies en relación de cierta cercanía provocando una relación competitiva y complementaria. Asimismo, Rodríguez et al. (2008) mencionaron que ésta está basada en la teoría de diferentes cultivos, plantados unos cerca de otros, lo que permite un mejor desarrollo por la contribución de nutrientes unos a otros, el control de plagas y malas hierbas, la polinización, etc.

Se conoce como asociación de cultivos maíz-frijol a la práctica de sembrar maíz y frijol mezclados en el mismo surco. La asociación de cultivos es una de las técnicas más efectivas de la agricultura tradicional y consiste en sembrar simultáneamente dos o más especies en donde la cercanía de las especies ejerce relaciones de competencia y complementariedad (Lara, 2015).

La asociación de cultivos, cultivo múltiple o sistemas de policultivo (Altieri, 1983) son sistemas en los cuales se plantan especies vegetales con suficiente proximidad espacial para dar como resultado una competencia inter-específica y/o complementación. Estas interacciones pueden tener efectos inhibidores o promotores en los rendimientos (Lara, 2015).

Por una parte, las asociaciones de cultivos influyen sobre la dinámica de las poblaciones de insectos plaga que generalmente provocan menos daños a los cultivos y, por otra, la supresión de hierbas adventicias debido al sombreado, alelopatía, etc. y un mejor uso de los nutrientes del suelo con el consiguiente

mejoramiento de la productividad por unidad de superficie. Algunas condiciones favorables en el cultivo de maíz y frijol es que, las plantas de frijol fijan nitrógeno atmosférico en el suelo que el maíz necesita y puede utilizar para su desarrollo, puesto que las plantas de frijol no demandan utilizar el nitrógeno que fijan. Los frijoles trepadores se benefician del maíz, ya que pueden torcer los tallos y los utilizan como apoyo para su óptimo crecimiento, así alcanzan con mayor eficiencia interceptar la radiación solar (Fernández, 1990).

Linton, (1948), al estudiar en Chapingo, Méx., la asociación maíz-frijol en 20,000 plantas ha⁻¹ en ambos. Observó que tanto los rendimientos de frijol como maíz en asociación fueron menores que los rendimientos un monocultivo. Sin embargo, al obtener las ganancias netas por hectárea y en las parcelas de asociación se suman las ganancias de ambos cultivos, la asociación de cultivos resulta superior a las siembras solas.

Moreno (1972), estableció dos experimentos de asociación maíz-frijol y uno de siembras intercaladas en el área del Plan Puebla, en México, concluyendo que la asociación maíz-frijol de guía es buena alternativa en el uso de los recursos del agricultor y nada puede decirse en favor o en contra del maíz y frijol de mata intercalado. Así mismo, mencionaron que los rendimientos de frijol de guía asociado superaron a los del frijol solo, mientras que el maíz asociado no logró en ninguno de los casos igualar el rendimiento del maíz solo. Por otro lado, la ganancia neta combinada de ambos cultivos asociados superó en todos los casos a la correspondiente siembra de maíz y frijol de guía por separado y que la máxima ganancia en la asociación se logró cuando los estímulos estuvieron a su nivel mayor. En este mismo trabajo, se encontró que la mejor fecha de siembra del frijol de guía en asociación fue la que se hizo al

momento de sembrar el maíz a finales en mayo. El trabajo de Mreno (1972) generó una primera aproximación de recomendación para este sistema de producción, estableciendo que ambas especies podrían sembrarse al mismo tiempo con una población de 40 y 90 mil plantas por ha⁻¹ de maíz y frijol, respectivamente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del trabajo experimental

El presente experimento se estableció durante el ciclo agrícola primavera verano del 2017, bajo condiciones de temporal, en el Campo Experimental de la Facultad de Ciencias Agrícolas, ubicada en el Campus Universitario “El Cerrillo” de la Universidad Autónoma del Estado de México, el cual tiene las siguientes coordenadas: 99° 41’ 30” W y 19° 42’ 30” N, 2640 msnm. De acuerdo a la clasificación climática de Köpen, modificada por García (1988), el clima predominante es C (w2) (w) b (i) que corresponde a templado subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos, con lluvias en verano y escasa precipitación pluvial en invierno (5%), poca oscilación térmica, temperatura media anual de 12.8°C y precipitación promedio anual de 900 mm. El suelo de la región es un vertisol pélico de origen volcánico; presenta un horizonte mineral con un bajo contenido de materia orgánica que va del 1.01 a 2.36 %. El color del horizonte superficial en seco es café grisáceo oscuro o gris oscuro con contenidos de arcilla de 20 a 36.4 %. En el perfil del suelo se puede distinguir un horizonte con disturbios de labranza presentando compactaciones por piso de arado, la cantidad de materia orgánica va 0.07 a 1.01% (Gil *et al.*, 2014).

3.2 Material genético y diseño experimental

Los tratamientos generados de la combinación factorial de tres poblaciones de maíz palomero (Palomero toluqueño (Tol-16-2904-14), Tlax 88 (Tol-15-2903-3), Mex-312 (Tol-16-2904-12)) líneas donadas por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y tres variedades de frijol de hábito de crecimiento tipo III (Criollo Huexotla, Acerado ICAMEX, Rosita 5020) bajo asociación y sus respectivos unicultivos tanto de maíz como de frijol se establecieron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. En el Cuadro 1 se presenta el arreglo factorial de ambas especies bajo asociación.

Criollo Huexotla: es una variedad de frijol con hábito de crecimiento de guía con capacidad para trepar, o para enredarse sobre un tutor, que puede tener una longitud del tallo principal de hasta 2.20 m; también se puede sembrar en unicultivo; el tallo principal presenta una buena ramificación; el color de la flor es blanca; antes de la madurez fisiológica las vainas son de color verde uniforme, al final son de color claro; el número de vainas por racimo es de 3, el número de vainas por planta es de 60, el número de granos por vainas es de 7, el tamaño de la semilla es mediana de color bayo, con hiliun de color blanco; en el hipocotilo en los primeros días de la emergencia no hay la presencia de antocianinas. El rendimiento promedio de grano es de 2.2 t ha⁻¹. Algunas de las características anteriores pueden variar por las condiciones ambientales (ICAMEX, 2015).

Acerado ICAMEX: es una variedad de frijol con hábito de crecimiento de guía con capacidad para trepar, o enredarse sobre un tutor, que puede tener una

longitud del tallo principal hasta de 2.50 m; el tallo principal presenta una buena ramificación; el color de la flor es blanca; antes de la madurez fisiológica las vainas son de color verde, al final son de color claro; el número de vainas por racimo es de 3, el número de vainas por planta es de 80, el número de granos por vainas es de 7, el tamaño de la semilla es mediana de color café brillante, con hiliium de color blanco; en el hipocotilo en los primeros días de la emergencia no hay la presencia de antocianinas. El rendimiento promedio de grano es de 2.5 t ha^{-1} . Algunas de las características anteriores pueden variar por las condiciones ambientales (ICAMEX, 2015).

Rosita 5020: Es una variedad de frijol con hábito de crecimiento de guía con capacidad para trepar, o enredarse sobre un tutor, que puede tener una longitud de tallo principal hasta de 2.50 m; el tallo principal presenta una buena ramificación; el color de la flor es blanca; antes de la madurez fisiológica las vainas son de color verde uniforme, al final son de color claro; el número de vainas por racimo es de 3, el número de vainas por planta es de 75, el número de granos por vaina es de 6, el tamaño de la semilla es mediana de color rosa brillante, con hiliium de color blanco; en el hipocotilo en los primeros días de la emergencia no hay la presencia de antocianinas. El rendimiento promedio de grano es de 2.2 t ha^{-1} . Algunas de las características anteriores pueden variar por las condiciones ambientales (ICAMEX, 2015).

Cuadro 1. Poblaciones de maíz Palomero Toluqueño y variedades de frijol, simbología utilizada y tratamientos estudiados.

Población	Símbolo	Frijol	Variedad	Tratamientos
Maíz			Símbolo	
Tol-16-2904-14	m1	Criollo Huexotla	f1	m1f1 m1f2 m1f3
Tol-16-2904-12	m2	Acerado ICAMEX	f2	m2f1 m2f2 m2f3
Tol-15-2903-3	m3	Rosita 5020	f3	m3f1 m3f2 m3f3

Aunado a la estructura anterior se consideraron los dos unicultivos (Cuadro 2). El unicultivo de frijol fue dañado por exceso de agua antes de la floración no fue considerado en los análisis estadísticos. De este modo en resultados solo se hará mención al sistema asociado en ambas especies.

3.3 Condiciones generales del experimento

La siembra del experimento se realizó manualmente en mayo del 2017 en parcelas de 3 surcos de 3 m de largo, separados a 0.8 m. En la siembra se

depositaron dos semillas de maíz y dos de frijol a 20 cm entre matas para posteriormente aclarar a sólo una planta por mata por especie quedando una densidad de 62500 plantas por ha⁻¹, en una de las especies, tanto en asociación como en unicultivo. El experimento se condujo sin limitaciones nutrientes, la fertilización estuvo basada en el tratamiento 120N-60P-60K utilizando como fuentes de nitrógeno, fósforo y potasio urea, superfosfato de calcio triple y cloruro de potasio, respectivamente. El control de malezas se realizó mecánica y manual durante todo el experimento. Así mismo, se monitorearon las principales variables climáticas utilizando una estación climática computarizada (Davis Instruments, Inc.) que se encuentra instalada a 200 m del terreno.

Cuadro 2. Distribución de los tratamientos en campo, poblaciones de maíz palomero (Tol-16-2904-14 (m1), Tol-16-2904-12 Mex-312 (m2), Tol-15-2903-3 Tlax 88 (m3), variedades de frijol (Criollo Huexotla (f1), Acerado ICAMEX (f2), Rosita 5020 (f3).

m1- f1	m2- f2	m3- f3	m1- f2	m2- f3	m3- f1	m1- f3	m2- f1	m3- f2						
m3- f3	m1- f1	m2- f2	m3- f1	m1- f2	m2- f3	m3- f2	m1- f3	m2- f1						
m2- f2	m3- f3	m1- f1	m2- f3	m3- f1	m1- f2	m2- f1	m3- f2	m1- f3						
<table border="1"> <tr> <td>m1</td> <td>m2</td> <td>m3</td> </tr> </table>			m1	m2	m3	<table border="1"> <tr> <td>f1</td> <td>f2</td> <td>f3</td> </tr> </table>			f1	f2	f3			
m1	m2	m3												
f1	f2	f3												
<table border="1"> <tr> <td>m3</td> <td>m1</td> <td>m2</td> </tr> </table>			m3	m1	m2	<table border="1"> <tr> <td>f3</td> <td>f1</td> <td>f2</td> </tr> </table>			f3	f1	f2			
m3	m1	m2												
f3	f1	f2												
<table border="1"> <tr> <td>m2</td> <td>m3</td> <td>m1</td> </tr> </table>			m2	m3	m1	<table border="1"> <tr> <td>f2</td> <td>f3</td> <td>f1</td> </tr> </table>			f2	f3	f1			
m2	m3	m1												
f2	f3	f1												

3.4 Variables de estudio

Durante el desarrollo del experimento se midieron variables fenológicas en ambas especies en unicultivo y en asociación. En maíz se contabilizó el tiempo térmico a emergencia, V4, V8, VT, floración femenina y madurez fisiológica (MF), y en frijol se determinó el tiempo térmico a emergencia, primera hoja trifoliada expandida, R1, R5 y R8 (MF), para el cálculo del tiempo térmico en ambas especies se utilizó una temperatura base de 8 °C (Verheul *et al.*, 1996; Machado *et al.*, 2006).

En madurez fisiológica se cosecharon 5 plantas de ambas especies y la materia seca fue determinada después de secar las plantas en una estufa de aire forzado por 72 horas a 60 °C. En maíz, se contabilizó el número de mazorcas por planta y totales en la muestra, y el grano seco resultante fue pesado para determinar el rendimiento de grano, el número de granos, el peso individual de grano, el número de mazorcas y el número de granos por mazorca. En frijol, una vez obtenido el peso seco de la muestra de cinco plantas, se contó el número de vainas y el número de granos por vaina. El grano resultante de la muestra fue pesado para determinar el rendimiento de grano, el número de granos y el peso individual de grano.

3.5 Análisis estadístico

Las variables de respuesta del experimento fueron sometidas a análisis de varianza de acuerdo al modelo que corresponde a un experimento bifactorial en bloques completos al azar (Littell *et al.*, 1996). Cuando la prueba de F en los análisis de varianza fue significativa, se realizó la prueba de medias con la diferencia mínima significativa honesta (DMSH) o prueba de Tukey a un nivel

de significancia del 5% (Palaniswamy y Palaniswamy, 2006). Las relaciones entre variables se determinaron mediante análisis de regresión, ajustando modelos lineales (TBL curve, Jandel Scientific, AISN Software) según la variable.

IV. RESULTADOS

4.1. Condiciones ambientales

Las condiciones climáticas durante el desarrollo del experimento se presentan en la Figura 4, donde se observa que la emergencia del cultivo se dio sin restricciones de humedad a los 8 días de la siembra (24 de mayo). Por otro lado, se puede apreciar que el inicio del periodo reproductivo coincidió con condiciones de temperatura y precipitación favorables para ambos cultivos. Hacia el desarrollo y floración de maíz palomero - frijol se observó un ascenso en los niveles de precipitación registrados, lo cual repercutió negativamente sobre el desarrollo del experimento ya que el tipo de suelo permite retener agua en el perfil lo que provocó que los unicultivos, principalmente de frijol, se dañaran por exceso de humedad. En general la precipitación influyó de manera considerable, ya que por exceso de lluvia se perdió el unicultivo de frijol y no se pudieron determinar algunas de sus variables; la temperatura no influyó negativamente en el desarrollo de ambas especies (Figura 4).

4.2. Análisis de varianza

En el Cuadro 3, se muestran los valores de F de los análisis de varianza practicados a los datos de maíz en asociación con frijol, en donde se aprecia que para el caso de bloques no se observaron efectos significativos para ninguna variable considerada, a excepción del número de mazorcas en la cual se hubo diferencias significativas ($P < 0.05$). Para poblaciones de maíz se observaron efectos altamente significativos ($p < 0.01$) para biomasa, rendimiento de grano y peso individual de grano mientras que para el índice de cosecha las diferencias solo fueron significativas al 0.05.

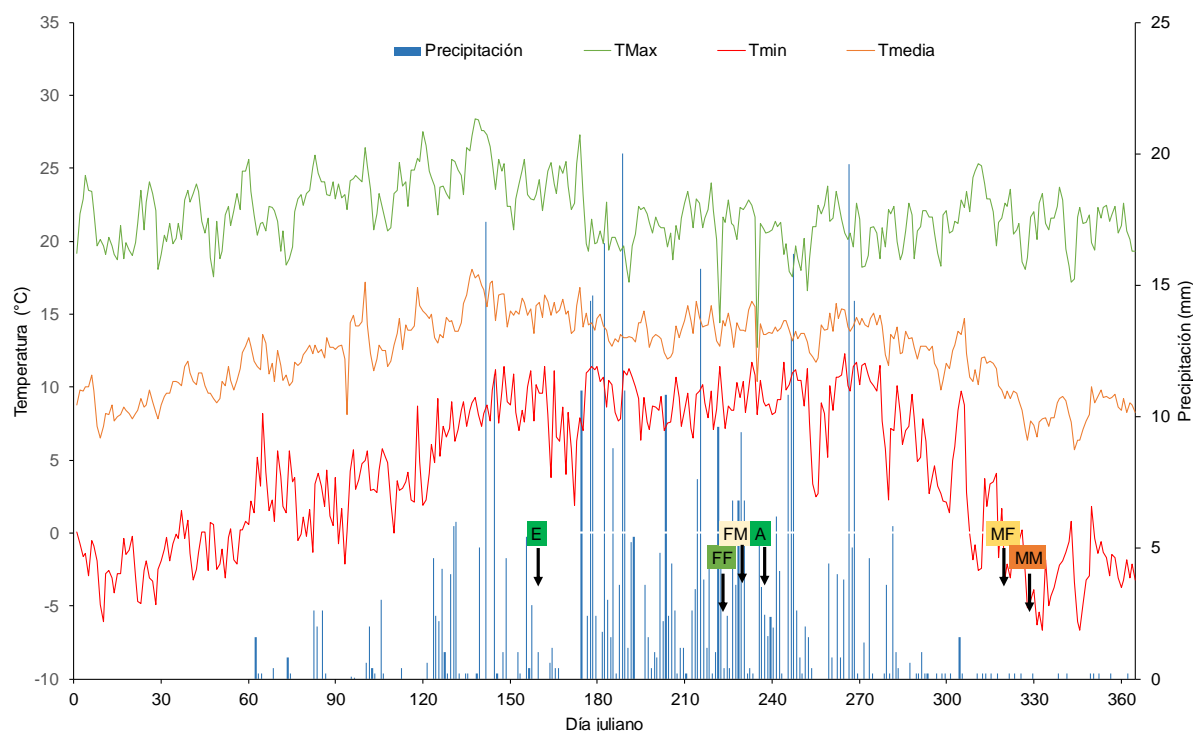


Figura 4. Condiciones climáticas prevaletientes durante el desarrollo del experimento. E= emergencia, FF= floración de frijol, FM= floración femenina en maíz, A= antesis en maíz, MF= madurez fisiológica en frijol, MM= madurez fisiológica en maíz.

En variedades de frijol se observaron efectos altamente significativos ($P < 0.01$), para biomasa, rendimiento, índice de cosecha, número de granos y peso individual de granos; no hubo diferencias significativas para número de mazorcas y de granos por mazorca. En la interacción maíz-frijol no se observaron efectos significativos a excepción de biomasa donde estos fueron altamente significativos ($p < 0.01$) y en peso individual de grano los efectos significativos al 0.05 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Valores de F y su significancia estadística de los análisis de varianza para biomasa de maíz palomero en madurez (BiomM), rendimiento de maíz (RendM), índice de cosecha de maíz (ICM), número de granos por mazorca (NGM), peso Individual de grano (PIGM), número de mazorcas (NMZ), número de granos por mazorca (NGPMZ) para tres poblaciones de maíz Palomero Toluqueño cultivadas en asociación con tres variedades de frijol, en Toluca, México.

Fuente de variación	g.l	BiomM (g m ²)	RendM (g m ²)	ICM	NGM	PIGM (g)	NMZ	NGPMZ
Repetición	2	2.94ns	2.64ns	1.28ns	2.43ns	1.20ns	4.09*	1.47ns
Pob. Maíz (M)	2	8.77**	37.25**	5.43*	2.16ns	6.35**	0.11ns	1.93ns
Var. Frijol (F)	2	5.81**	40.34**	21.92**	9.69**	10.16**	0.25ns	1.47ns
M x F	4	4.55**	2.25ns	1.95ns	2.65ns	4.31*	1.46ns	2.79ns
Error (CME)	16	7787.3	1136.0	0.003	187899.4	1119.2	2.34	17065.4
C.V (%)		9.74	12.35	18.91	26.01	19.08	24.74	44.46

CME: Cuadrado medio del error, Pob: Poblaciones, Var: Variedades, n.s. No significativo, *Significativo al 0.05, **Significativo al 0.01.

En el Cuadro 4, se muestran los valores de F de los análisis de varianza practicados a los datos de frijol en asociación con maíz, en donde se aprecia que para bloques no se observaron efectos significativos para ninguna de las variables, a excepción del número de granos por vaina ($P < 0.05$). Para las poblaciones de maíz no se observaron efectos significativos ($P > 0.05$) en ninguna variable. En el caso, de las variedades de frijol se observaron efectos altamente significativos ($P < 0.01$) para el índice de cosecha y número de granos por vaina, y efectos significativos ($P < 0.05$) en número de granos. No hubo diferencias significativas ($P > 0.05$) en biomasa, rendimiento de grano, peso individual de grano y número de vainas; en la interacción maíz x frijol se observaron efectos significativos ($P < 0.05$) para rendimiento de grano, índice de cosecha y número de granos por vaina (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores de F y su significancia estadística de los análisis de varianza para biomasa de frijol en madurez (biomF), rendimiento de frijol (RendF, índice de cosecha de frijol (ICFM), número de granos por m² (NGFM), peso Individual de grano (PIGFM), número vainas (NVF), número de granos por vaina (NGPV) para tres variedades de frijol cultivadas en asociación con tres poblaciones de maíz Palomero Toluqueño, en Toluca, México.

Fuente de variación	g.l	BiomF (g m ²)	RendF (g m ²)	ICFM	NGF	PIGF (g)	NVF	NGPV
Repetición	2	1.22ns	1.02ns	0.47ns	0.49ns	0.96ns	2.12ns	3.64*
Pob. Maíz (M)	2	0.27ns	0.36ns	3.29ns	0.28ns	0.07ns	0.12ns	0.13ns
Var. frijol (F)	2	3.34ns	3.37ns	6.71**	3.70*	0.09ns	0.65ns	5.17**
M x F	4	2.84*	2.85*	3.12*	2.05ns	0.83ns	0.34ns	3.73*
Error (CME)	16	30022.2	5765.5	0.00	58352.7	1019.4	4564.8	1.87
C.V (%)		27.77	29.31	2.35	28.90	10.33	30.62	32.73

CME: Cuadrado medio del error, Pob: Poblaciones, Var: Variedades n.s. No significativo, *Significativo al 0.05, **Significativo al 0.01.

4.3. Comparación de medias

Poblaciones de maíz

En el Cuadro 5, se muestran los valores medios para las variables analizadas en el cultivo de maíz en asociación con frijol, en donde se observa que las poblaciones Tol-16-2904-14 y Tol-15-2903-3 superaron significativamente a Tol-16-2904-12 en producción de biomasa. Por lo que respecta al rendimiento de grano, Tol-16-2904-14 y Tol-15-2903-3 superaron en promedio a Tol-16-2904-12 en 38%, siendo esta diferencia significativa ($P < 0.05$). En índice de cosecha Tol-16-2904-12 mostró el valor más alto, seguida de Tol-15-2903-3 y Tol-16-2904-14; en esta última índice de cosecha fue 45% menor fue en Tol-15-2903-3. En número de granos por m^2 , Tol-16-2904-14 y Tol-16-2904-12 superaron en promedio y de manera significativa a Tol-15-2903-3 en un 35%. Para de peso individual de grano Tol-16-2904-12 y Tol-15-2903-3 no difirieron significativamente entre sí, y superaron en promedio a Tol-16-2904-14, en 28%. En número de mazorcas y número de granos por mazorca no existieron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre las tres poblaciones estudiadas (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comparación de medias para biomasa de maíz palomero en madurez (BiomM), rendimiento de maíz (RendM), índice de cosecha de maíz (ICM), número de granos por mazorca (NGM), peso Individual de grano (PIGM), número de mazorcas (NMZ), número de granos por mazorca (NGPMZ) para tres poblaciones de maíz Palomero Toluqueño cultivadas en asociación con tres variedades de frijol, en Toluca, México.

Población	BiomM (g m ²)	RendM (g m ²)	ICM	NGM (x m ²)	PIGM (mg grano ⁻¹)	NMZ (x m ²)	NGPMZ
Tol-16-2904-14	909a	312a	0.22c	1665a	138.6b	6.3a	265a
Tol-16-2904-12	817a	194 b	0.40a	2117a	177.5a	6.3a	355a
Tol-15-2903-3	991a	313 a	0.29b	1217b	209.6a	5.8a	262a
DMSH (0.05)	107	41	0.07	527	40.69	1.8	159

En el Cuadro 6, se muestran los valores medios para las variables analizadas en el cultivo de frijol asociado con maíz, en donde se observa que únicamente en índice de cosecha Criollo huexotla y Rosita 5020 superaron en forma significativamente a la población Acerado ICAMEX, en 3%. Para el resto de las variables las tres variedades de frijol se comportaron estadísticamente iguales (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación de medias para biomasa de frijol en madurez (BiomF), rendimiento de frijol (RendF), índice de cosecha de frijol (ICF), número de granos por m² (NGF), peso individual de grano (PIGF), número vainas (NVF), número de granos por vaina (NGPVF) para tres variedades de frijol cultivadas en asociación con tres poblaciones de maíz Palomero Toluqueño, en Toluca, México.

Población	BiomF (g m ²)	RendF (g m ²)	ICF	NGF (x m ²)	PIGF (mg grano ⁻¹)	NVF	NGPVF
Criollo Huexotla	658a	276a	0.41a	883a	311a	214a	4.3a
Acerado ICAMEX	600a	246a	0.40b	801a	306a	229a	4.0a
Rosita 5020	613a	255a	0.41a	822a	309a	217a	4.1a
DMSH (0.05)	211	92	0.01	293	39	82	1.6

Las relaciones entre los componentes fisiológicos del rendimiento de las poblaciones de maíz en asociación con frijol mostraron que los cambios en esta característica fueron explicados principalmente por cambios en el índice de cosecha y no por la producción de biomasa (Figura 5). Por otro lado, los cambios en el rendimiento de las variedades de frijol cuando estuvieron asociadas con maíz fueron explicadas en mayor medida por cambios en la

producción de biomasa ($r^2=0.99$, $P<0.001$) (Figura 5c) y ligeramente por índice de cosecha (0.42, $P<0.05$) (Figura 5d).

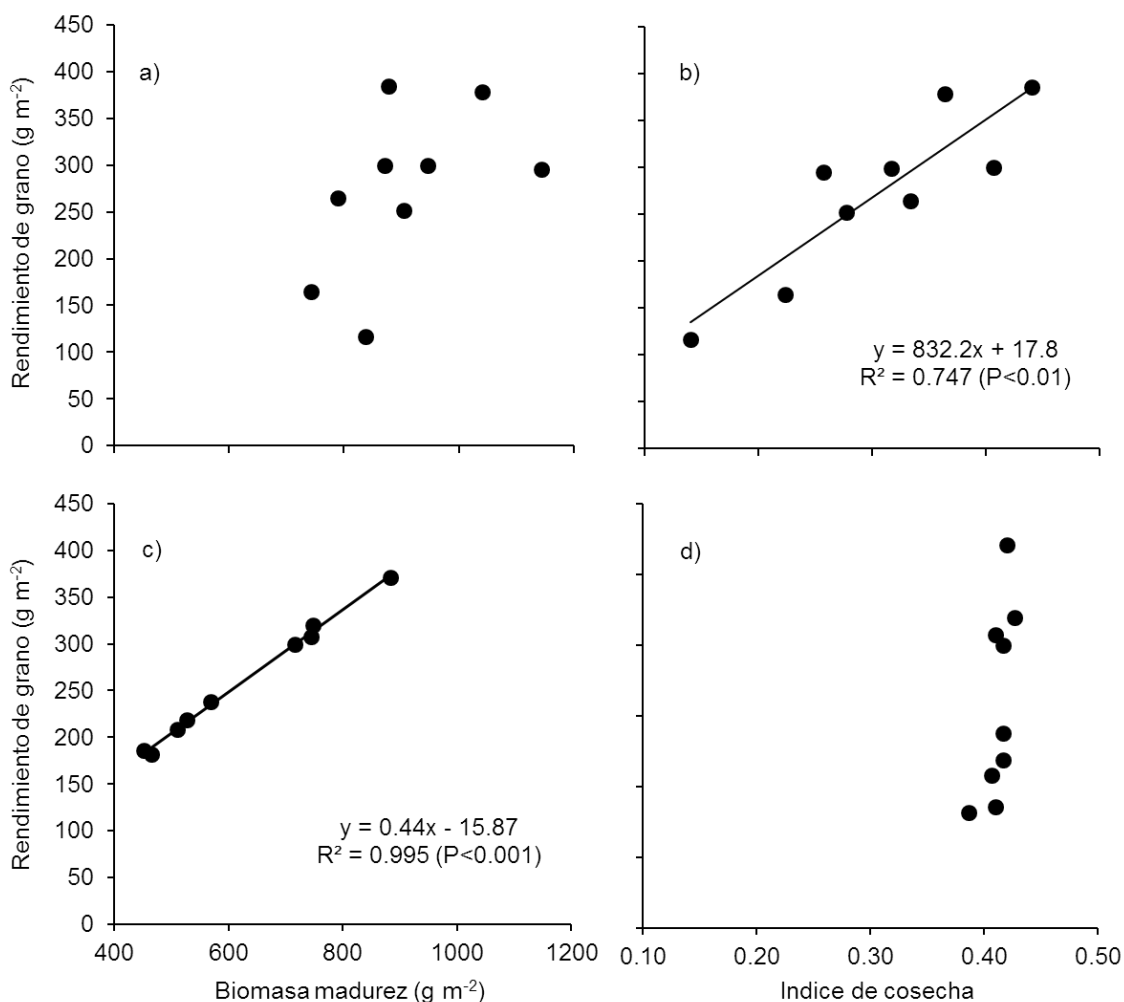


Figura 5. Relaciones entre rendimiento de grano y biomasa a madurez (a), el índice de cosecha (b) en maíz, biomasa a madurez de frijol (c) y el índice de cosecha de frijol (d) en asociación en Toluca, México.

Las relaciones entre el rendimiento de grano y sus componentes numéricos en las poblaciones de maíz en asociación con frijol mostraron que los cambios en el rendimiento fueron explicados por el número de granos y no por el peso individual de grano en ambas especies (Figura 6). En el caso de frijol los

cambios en el rendimiento de las variedades estuvieron asociadas principalmente por cambios en número de granos y no por el peso individual de grano ($r^2=0.97$, $P<0.001$); (Figura 6c).

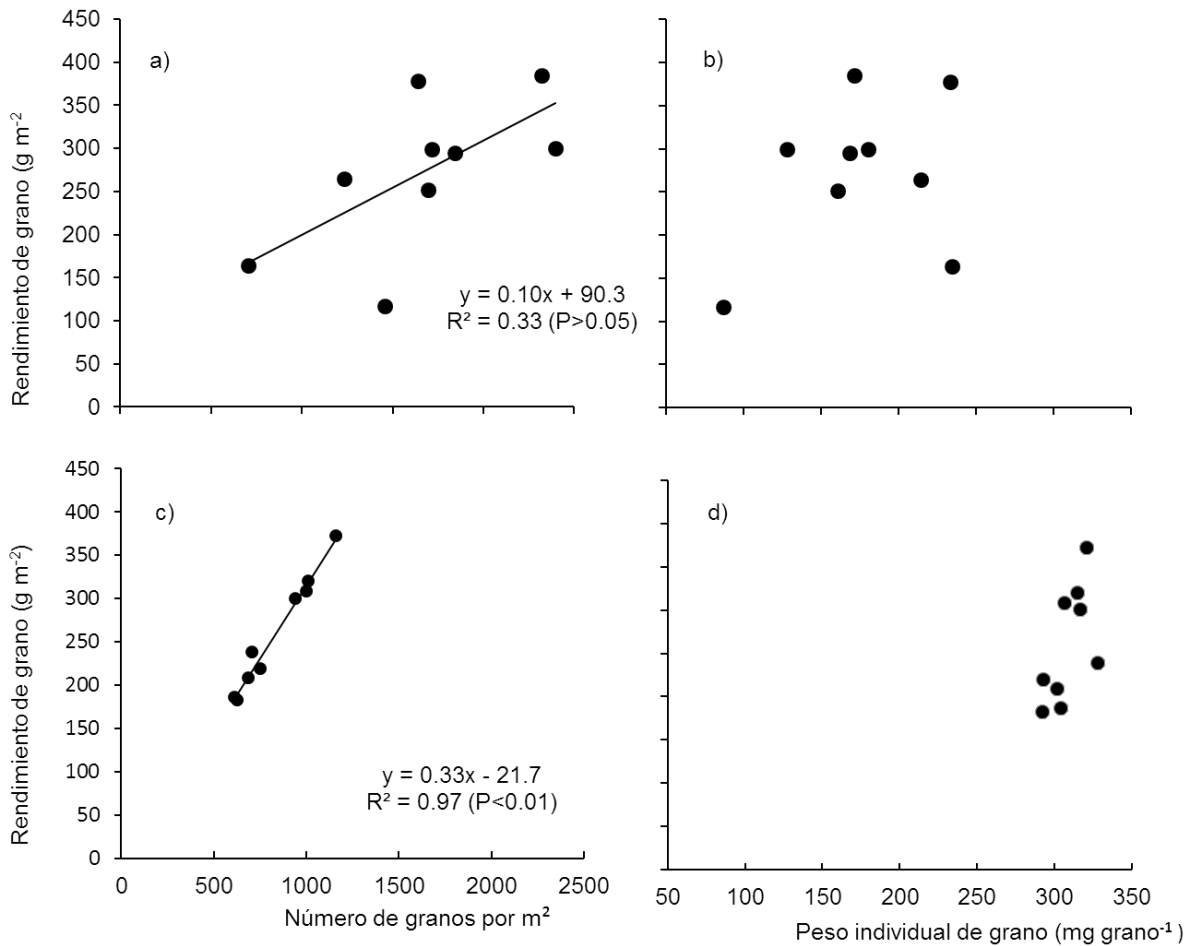


Figura 6. Relaciones del rendimiento de grano y peso individual de granos (a), el peso individual de grano (b) en maíz y el número de granos (c), el peso individual de grano (c) para frijol en asociación en Toluca, México.

Las relaciones entre los componentes numéricos de rendimiento de las poblaciones de maíz en asociación con frijol mostraron que los cambios fueron

explicados ligeramente por el número de granos por mazorca y no por el número de mazorcas ($r^2 = 0.25$) (Figura 7b). Los cambios en el número de granos por unidad de superficie de las variedades de frijol estuvieron asociados principalmente por el número de granos por vaina y no por el número de vainas ($r^2=0.89$, $P<0.001$); (Figura 7d), ya que en esta última se observó una relación negativa con el número de granos ($r^2 = 0.43$, $P<0.03$); (Figura 7c).

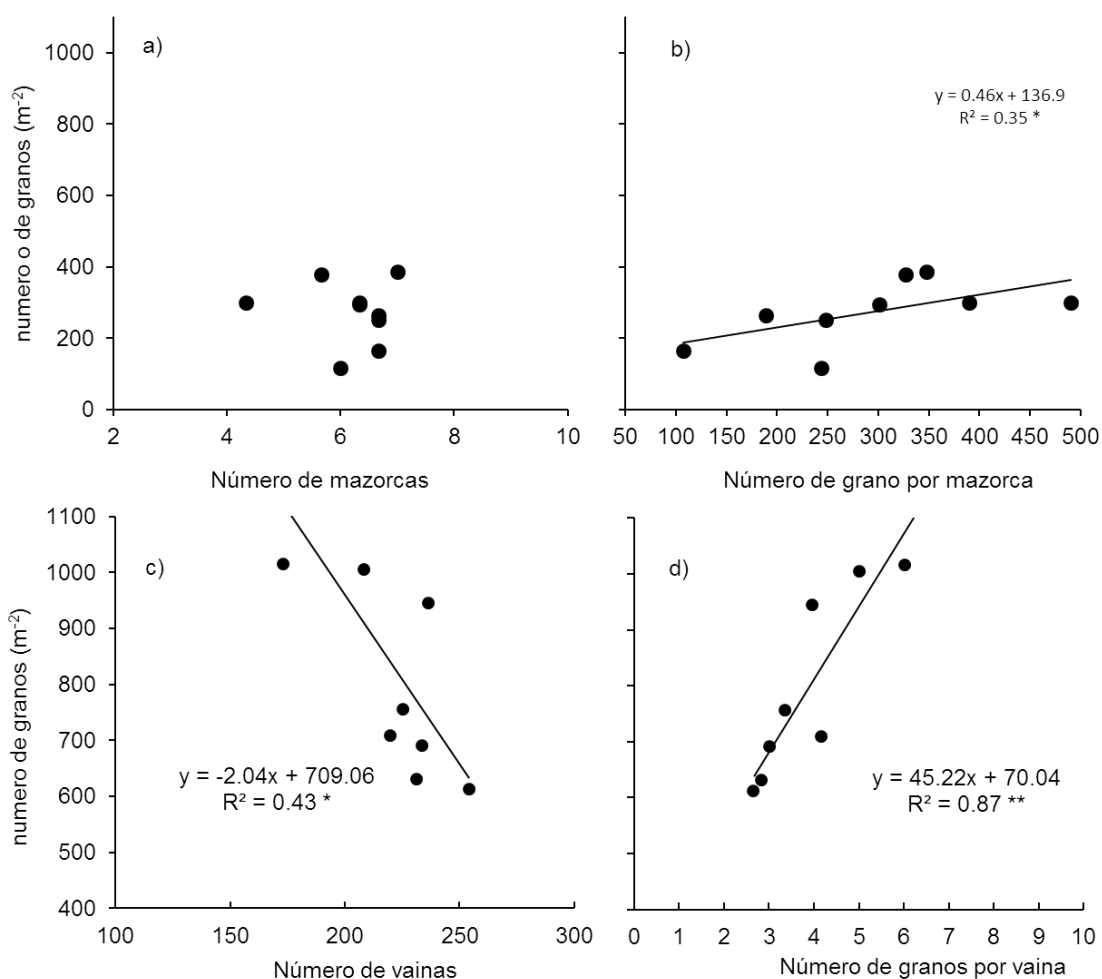


Figura 7. Relaciones entre rendimiento de grano de maíz con número de mazorcas (a) y número de granos por mazorca (b), relaciones entre el rendimiento de grano de frijol con número de vainas (a) y número de granos

por vaina (b) para tres poblaciones de maíz asociadas con tres variedades de frijol en Toluca, México

Análisis de la interacción maíz-frijol

En esta interacción, el maíz Tol-15-2903-3 Tlax 88 mostró los valores más altos de biomasa cuando estuvo en asociación con Criollo Huexotla y Acerado ICAMEX superando de manera significativa a las otras dos poblaciones en cualquier combinación de variedad de frijol (Figura 8). Cuando esta población estuvo en asociación con Rosita 5020 su producción de biomasa disminuyó significativamente.

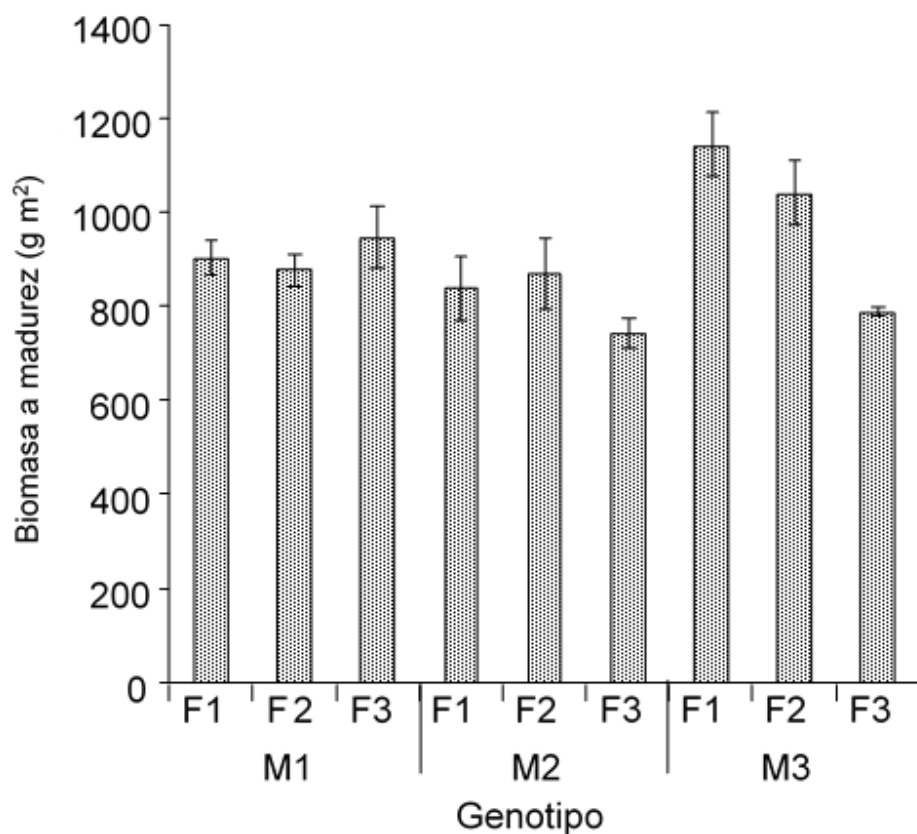


Figura 8. Interacción maíz x frijol para la producción de biomasa a madurez fisiológica cuando éstas crecieron en asociación en Toluca, México. F1 = Criollo Huexotla; F2 = Acerado ICAMEX; F3 = Rosita 5020. M1 = Tol-16-2904-14; M2 = Tol-16-2904-12 Mex-312; M3 = Tol-15-2903-3 Tlax 88.

Por otro lado, la interacción significativa maíz x frijol para peso individual de grano estuvo caracterizada por un mayor de peso de grano de maíz Tol-16-2904-12 cuando se asoció con Rosita 5020 comparativamente con el peso obtenido cuando se asoció con Criollo Huexotla y Acerado ICAMEX, mientras que el mayor peso de grano de Tol-15-2903-3 Tlax 88 fue obtenido en asociación frijol Acerado ICAMEX y Rosita 5020 (Figura 9).

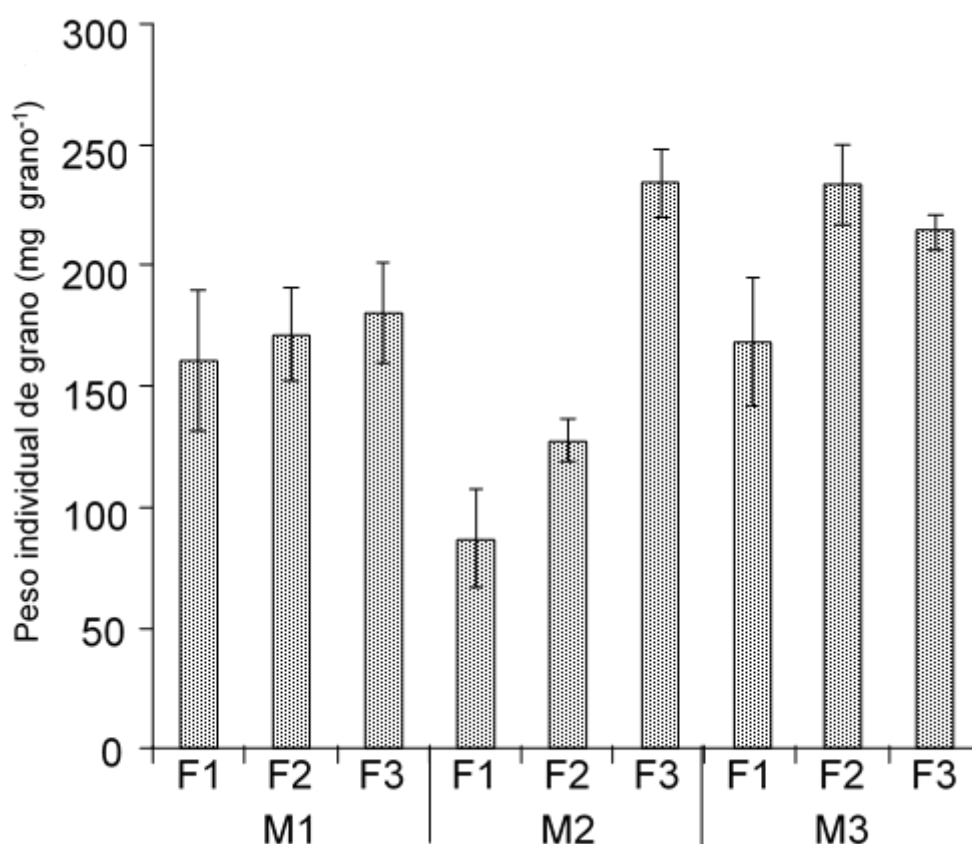


Figura 9. Interacción de maíz x de frijol para el peso individual de grano de maíz cuando éstas crecieron en asociación con frijol en Toluca, México. F1 = Criollo Huexotla; F2 = Acerado ICAMEX; F3 = Rosita 5020. M1 = Tol-16-2904-14; M2 = Tol-16-2904-12 Mex-312; M3 = Tol-15-2903-3 Tlax 88.

La interacción frijol x maíz resultó significativa para la producción de biomasa a madurez, rendimiento de grano y número de granos por vaina (Figura 8 y 10). Para biomasa de frijol se observó que Rosita 5020 obtuvo los valores más altos cuando estuvo asociada con la población maíz Tol-16-2904-12 Mex-312; una situación similar fue observada en rendimiento de grano en esa misma variedad (Figura 10a y 10b). El menor rendimiento promedio de frijol fue obtenido por Criollo Huexotla en cualquier combinación de maíz palomero, mientras que la variedad Acerado ICAMEX, sólo mostró buenas producciones de biomasa cuando estuvo en asociación con maíz palomero Tol-16-2904-14 y Tol-15-2903-3 Tlax 88.

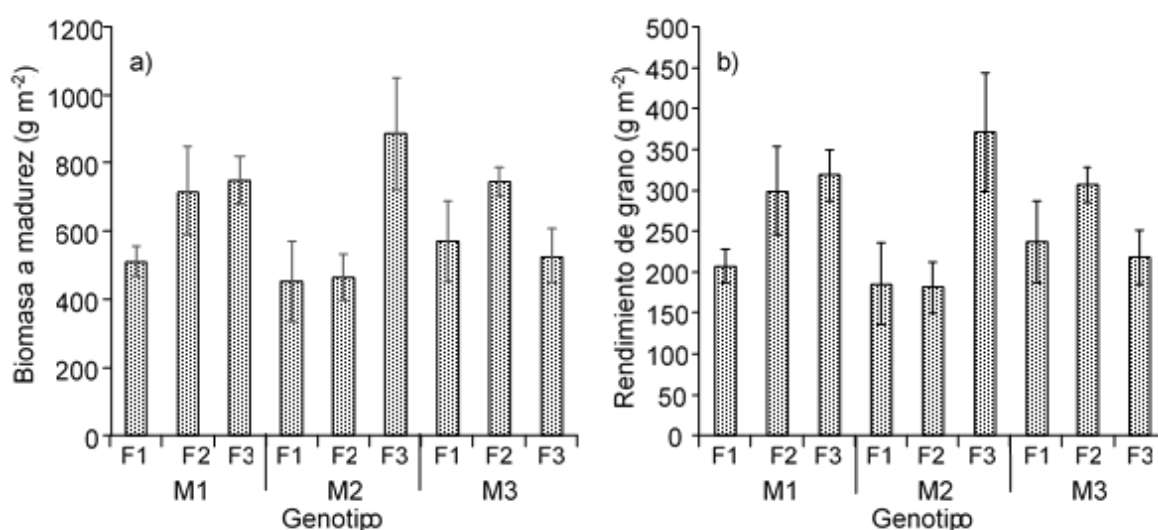


Figura 10. Interacción frijol x maíz para la biomasa a madurez (a) y rendimiento de grano (b) en frijol cuando éstas crecieron en asociación con maíz palomero en Toluca, México. F1 = Criollo Huexotla; F2 = Acerado ICAMEX; F3 = Rosita 5020. M1 = Tol-16-2904-14; M2 = Tol-16-2904-12 Mex-312; M3 = Tol-15-2903-3 Tlax 88.

Para número de granos por vaina, las tres variedades de frijol presentaron un comportamiento diferencial en función de la población de maíz palomero con la cual estuvieron en asociación. En este sentido, Rosita 5020 obtuvo el mayor número de granos por vaina cuando estuvo en asociación con maíz Tol-16-2904-14 y Tol-16-2904-12 Mex-312, mientras que esta misma variedad logró valores estadísticamente inferiores en esta variable cuando se asoció con maíz palomero Tol-15-2903-3 Tlax 88 (Figura 11). Criollo Huexotla y Acerado ICAMEX, presentaron valores estadísticamente inferiores cuando estuvieron en asociación con maíz Tol-16-2904-14 y Tol-16-2904-12 Mex-312.

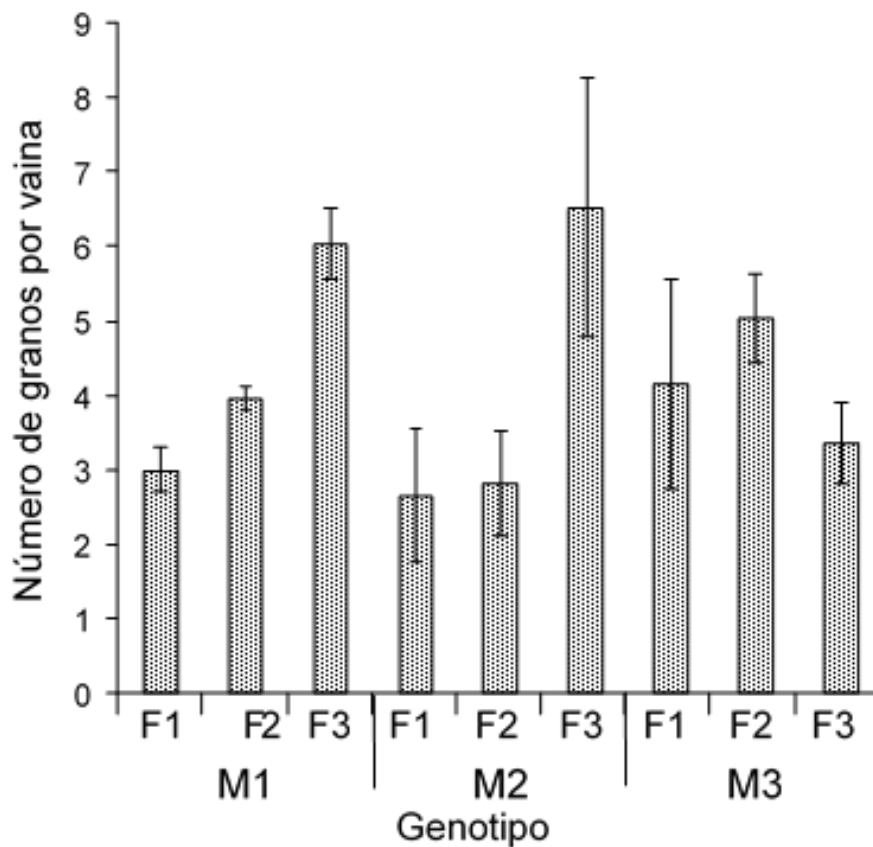


Figura 11. Interacción frijol x maíz para el número de granos por vaina en frijol cuando éstas crecieron en asociación con maíz palomero en Toluca, México. F1 = Criollo Huexotla; F2 = Acerado ICAMEX; F3 = Rosita 5020. M1 = Tol-16-2904-14; M2 = Tol-16-2904-12 Mex-312; M3 = Tol-15-2903-3 Tlax 88.

V. DISCUSIÓN

Con base en los objetivos generales y las condiciones prevalecientes durante el desarrollo y crecimiento del cultivo, se discuten a continuación aquellos resultados más relevantes y que pudieran tener impacto sobre el manejo agronómico del sistema de cultivo involucrado.

Sembrar diferentes cultivos, en el mismo lugar durante un mismo lapso de tiempo, permite el abastecimiento de mayor cantidad y diversidad de alimentos a lo largo de todo el año. En agricultura extensiva, el monocultivo se emplea de manera cotidiana por la facilidad de la siembra y la cosecha, sin embargo, del mismo modo que en los cultivos asociados también se presentan problemas fitosanitarios por plagas y enfermedades, aunque en estos casos la presencia de estos problemas tienden a ser menores (Karel, 1993). La asociación de cultivos se ha practicado en muchos países y es útil en el huerto familiar (FAO, 2018).

En el presente trabajo los análisis de varianza evidenciaron variabilidad fenotípica para los caracteres fisiológicos y morfológicos estudiados en ambas especies. Para poblaciones de maíz se observaron diferencias altamente significativas en las variables biomasa, rendimiento de grano y peso individual de grano. En el caso de variedades de frijol sólo se observaron diferencias significativas para índice de cosecha y número de granos por vaina. Se obtuvieron resultados favorables en cuanto al rendimiento de maíz, debido principalmente a una buena partición de la biomasa área expresada como índice de cosecha, así como también por el número de mazorcas y el peso individual de grano. Para el caso del frijol al tener una buena producción de

biomasa en maíz, se disminuyó la biomasa en frijol dando como resultado disminución en el número de vainas por plantas, pero el rendimiento básicamente del frijol fue explicado por el número de granos por vaina. Cabe señalar, que los valores de biomasa en ambas especies fue el resultado de una densidad adecuada para este sistema de producción (62500 plantas ha⁻¹) en nuestro caso tanto en maíz como en frijol fue la misma. Se ha mencionado que la densidad de plantas en un sistema asociado, intercalado o en policultivo siempre será menor en el cultivo principal (Ebel et al., 2017). Sin embargo, para nuestro trabajo la densidad de los monocultivos fue la misma, lo cual contrasta con lo mencionado por Ebel et al., (2017). Barrales (1997) al realizar un estudio en el estado de Tlaxcala con maíz en asociación con frijol, encontró que la tasa de crecimiento del frijol en asociación con maíz fue inferior a lo largo de todo el ciclo de cultivo lo que representó producciones de biomasa menores en frijol comparadas con aquellas producidas en maíz.

La comparación de medias para las variables analizadas en el cultivo de maíz en asociación con frijol reveló que las poblaciones de maíz Tol-16-2904-14 y Tol-15-2903-3 superaron significativamente a la población Tol-16-2904-12 en cuanto a la producción de biomasa, lo cual indica que las poblaciones de maíz palomero difieren en su adaptabilidad y más aún cuando crecen asociadas con otra especie como lo es el frijol. Por lo que respecta al rendimiento de grano las poblaciones Tol-16-2904-14 y Tol-15-2903-3 superaron en promedio a la población Tol-16-2904-12, esto a causa de la menor producción de biomasa para esta población. En cuanto al índice de cosecha la población Tol-16-2904-12 mostró el valor más alto en esta característica seguida de Tol-15-2903-3 y por último Tol-16-2904-14, los resultados obtenidos mostraron mejor respuesta

en promedio para índice de cosecha en la población Tol-16-2904-12. Al analizar el rendimiento de grano de todas las poblaciones de maíz y variedades de frijol en el presente trabajo, se pudo apreciar que los cambios observados en el rendimiento del grano fueron mejor explicados por cambios en el índice de cosecha y no por la producción de biomasa. Los cambios en el rendimiento de las variedades de frijol estuvieron asociados principalmente por el número de granos y no por el número de vainas.

Para el caso de frijol asociado con maíz, el comportamiento de las variables fue estadísticamente igual a excepción de la variable índice de cosecha, en donde Criollo huexotla y Rosita 5020 superaron en promedio y en forma significativa Acerado ICAMEX en 3%.

La interacción maíz-frijol estuvo presente de manera significativa para la producción de biomasa de maíz y peso individual de grano, mientras que en el caso de frijol los efectos de dicha interacción resultaron significativos para biomasa, rendimiento de grano e índice de cosecha, lo cual indica que las variedades de frijol se comportaron de manera diferencial en estos tres caracteres en función de la población de maíz con la cual estuvieron asociadas. Resultados similares fueron encontrados por Santalla et al. (2001a) y Javanmard et al. (2009), quienes, al estudiar las interrelaciones entre frijol asociados con maíz, encontraron interacciones significativas para rendimiento de semilla de frijol y número de vainas por planta. Por otro lado, se ha mencionado que el efecto combinado de una disminución en los niveles de precipitación al inicio del periodo de crecimiento y un incremento de temperatura, acelera el desarrollo ocasionando un menor crecimiento

vegetativo lo cual pudo haber limitado la altura de planta, biomasa y la tasa de aparición de hojas (Rajcan y Swanton, 2001).

La producción de biomasa para Tol-16-2904-14 con Criollo huexotla, ICAMEX y Rosita 5020 fueron más uniformes que para Tol-15-2903-3 y Tol-16-2904-12; el mejor comportamiento fue observado en Tol-16-2904-14 con Rosita 5020. Los resultados de la interacción maíz x frijol para el índice de cosecha son muy similares entre variedades de frijol, sin embargo, para maíz existió mayor variabilidad; los mejores resultados para la interacción maíz-frijol correspondió a Tol-16-2904-12 y Tol-16-2904-14 con Acerado ICAMEX. Por último, para rendimiento de grano, los resultados entre las tres poblaciones de maíz y las variedades de frijol fueron mejores para Tol-16-2904-14 y Tol-15-2903-3 con Acerado ICAMEX. Con base a las interacciones Harper (1997) mencionó que es posible describir los efectos de variedades de maíz y variedades de frijol en los diferentes términos de sus interacciones maíz x frijol y frijol x maíz. En este sentido Vélez et al. (2007) mencionaron que el efecto entre la interacción maíz x frijol disminuye los rendimientos del frijol hasta en 75%, y el efecto de frijol x maíz reduce los rendimientos del maíz hasta en 24%.

Al analizar el rendimiento de grano en la asociación maíz palomero-frijol considerado en el presente trabajo, se apreció que los cambios observados concuerdan en que el factor que favorece la interacción entre maíz y frijol es la captura de nitrógeno atmosférico, ya que el frijol forma una mayor cantidad de nódulos en asociaciones con el maíz, generando una ganancia neta de nitrógeno (Gliessman,1990). Aun cuando, en el presente estudio no se midió la capacidad diferencial de nodulación en frijol en asociación, diversos autores

afirman que la nodulación en frijol se maximiza cuando este cultivo crece con maíz (Cardoso et al., 2007; Santalla et al., 2001b).

Por otro lado, el mayor rendimiento de las poblaciones de maíz en comparación a las variedades de frijol fue debido a la mayor producción de biomasa derivada también de su mayor capacidad fotosintética asociado a su tipo de metabolismo. Ésto concuerda con los resultados obtenidos por Tsubo y Walker, (2005), quienes mostraron como el sombreado disminuyó el crecimiento del frijol, la distribución de los foto-asimilados hacia las vainas (40% menos), así también, encontraron que las hojas de maíz y frijol en el tercio inferior del dosel de la asociación utilizaron aproximadamente 60 y 20%, respectivamente de la radiación fotosintéticamente activa y concluyeron que éste es un factor agronómico muy importante para la reducción de biomasa.

No obstante, los problemas con malezas y exceso de agua que afectaron al monocultivo de frijol antes de la floración, la información recabada bajo condiciones de asociación pone de manifiesto que existen poblaciones de maíz Palomero Toluqueño que pueden ser utilizadas en asociación con variedades específicas de frijol optimizando el uso de la tierra.

VI. CONCLUSIONES

En este trabajo se estudió el comportamiento de tres poblaciones de maíz Palomero Toluqueño y tres variedades de frijol sembradas en asociación y unicultivo. Cabe señalar, que por problemas con malezas el unicultivo de frijol no pudo ser evaluado. Por lo anterior, las conclusiones solo harán referencia al experimento de asociación entre ambas especies.

- Se observaron efectos significativos de las variedades de maíz y frijol para la mayoría de los caracteres estudiados en las poblaciones de maíz en asociación con frijol.
- Las variedades de frijol mostraron un comportamiento diferencial a través de las tres variedades de maíz con que se asociaron para la mayoría de los caracteres estudiados.
- Los cambios observados en el rendimiento del grano en ambas especies fueron atribuibles principalmente por cambios en el índice de cosecha y no por la producción de biomasa.
- Los cambios en el rendimiento de grano de las variedades de frijol fueron explicados principalmente por el número de granos y no por el número de vainas.
- El mejor comportamiento de la población de maíz Tol-16-2904-14 fue observado con la variedad de frijol Rosita 5020.
- Las poblaciones de maíz Tol-16-2904-14 y Tol-15-2903-3 presentaron mejor comportamiento con la variedad de frijol Acerado ICAMEX.
- El índice de cosecha, de las variedades de frijol Criollo Huexotla y Rosita 5020 fue superior en 3% al de la población Acerado ICAMEX.
- Es factible producir en asociación maíz palomero – frijol ya que se obtienen buenos rendimientos para la zona agrícolas de temporal en Toluca.

VII. LITERATURA CITADA

- Arias, R. J.H., Rengifo, M. T y Jaramillo, C. M. (2007). Manual técnico buenas prácticas agrícolas (bpa) en la producción de frijol voluble. 2007, de FAO Sitio web: <http://www.fao.org/3/a-a1359s.pdf>
- Barrales, J. S. (1997). La asociación maíz-frijol, como alternativa para agricultura con problemas de heladas. *Agronomía Mesoamericana* 8 (2): 121-126.
- Cardoso, E. J. B. N., Mogueira, M. A.,and Ferraz, S. M. G. (2007). Biological N₂ fixation and mineral N in common bean–maize intercropping or sole cropping in southeastern brazil. *Experimental Agriculture* 43: 319-330.
- CIAT. (1984). Morfología de la planta de frijol común. Guía de estudio. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- Ebel, R., Pozas, C. J. G., Soria, M. F.,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.
- FAO. (2018). Legumbres. Pequeñas semillas, grandes soluciones. Ciudad de Paraná. 292 p.
- Fassio, A., D. Cozzolino, V. Bonjour, A. Pascal, F. Condón, I. y Delucchi. (2000). Maíz: Variabilidad Genética y Usos Alternativos del Grano. Editado por la Unidad de Difusión e Información Tecnológica. Montevideo Uruguay. 51p.

- Fernández, G.Y.M. (1990). Siembra. En: V.C. Liñán,(ed.). Vademecum del maíz. Semillas Pacífico, Sevilla, España. p: 57-128.
- García, E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de KOPPEN. Publicada por La Comisión Nacional Para el Estudio de la Biodiversidad (CANABIO). México: ISBN-UNAM. Serie libros (Obra General) 968-36-7398-8.
- Gentry, H.S. (1969). Origin of the common bean, *Phaseolus vulgaris*. Economic Botany 23: 55-69.
- Gil, H., Martínez, C.G.,y Estrada, G. (2014). Impacto del sistema de labranza y dosis de nitrógeno en el rendimiento y calidad nutricional de forraje de avena. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(6):951-964.
- Gliessman, S. R. (1990). Applied ecology and agroecology: Their role in the design of agricultural projects for the humid Tropics. pp. 33-47. *In*: F. Montagnini and R. Goodland (eds.). Race to save the tropics: Ecology and economics for a sustainable future. Island Press. Washington, DC, USA.
- Howard F. Schwartz, Guillermo. y E, Gálvez. (1980). Problemas de Producción de Frijol: Enfermedades, Insectos, Limitaciones Edáficas y Climáticas de *Phaseolus vulgaris*. Centro International de Agricultura Tropical (CIAT), Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.: International Standard Book Number: 84-89206-01-5.
- Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del Estado de México (ICAMEX). (2015). Caracterización de 5

variedades de frijol para el Sistema de Producción Asociación frijol-maíz.
2015, de ICAMEX. Sitio web:
www.ipomex.org.mx/ipo/archivos/downloadAttach/573830.web

- Javanmard, A., Nasab, A. D.M., Javanshir, A., Moghaddam, M., and Janmohammadi, H. (2009). Forage yield and quality in intercropping of maize with different legumes as doublecropped. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 7(1): 163-166.
- Karel, A. K. (1993). Effects of Intercropping with Maize on the Incidence and Damage Caused by Pod Borers of Common Beans. *Environmental Entomology* 22 (5): 1076-1083.
- Kwak, M., Kami, J.A., and Gepts, P. (2009). The Putative Mesoamerican Domestication Center of *Phaseolus vulgaris* Is Located in the Lerma-Santiago Basin of Mexico. *Crop Science* 49: 554-563.
- Ladizinsky, G. (1998). *Plant Evolution under Domestication*, Chapman and Hall, Springer Netherlands First edition, p. 254.
- Lara, F. M. (2015). El cultivo del frijol en México (Escuela Nacional de Estudios Superiores, UNAM). Vol. 16, Núm. 2: 1-11.
- Lépiz, I. R. (1978). La asociación maíz-frijol y el aprovechamiento de luz solar. Tesis de Doctor en ciencias, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 304 p.
- Littell, R. C., Milliken, G. A., Stroup, W. W., and Wolfinger, R. D. (1996). *SAS® System for Mixed Models*. Cary, NC: SAS Institute Inc. 633 p.

- Linton, C. (1948). Ensayo experimental sobre el cultivo de asociación de maíz-frijol en el Campo "El Horno". Tesis Profesional, Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Méx.
- Machado, N.B.N., Prioli, M. R., Gatti, A. B., and Mendes, C. V. J. (2006). Temperature effects on seed germination in races of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Scientiarum. Agronomy*, vol. 28, núm. 2: 155-164
- Mangelsdorf, P. C. y Smith, A. (1952). En heterosis. Universidad Harvard. págs. 175-198
- Martínez, E. (2006). Evaluación de un medidor de contenido de humedad de granos basado en el principio de capacitancia eléctrica. Centro Nacional de Metrología, División de Termometría. Simposio De Metrologia, 25 al 27 de Octubre. El Marqués, Qro., México. Pp. 1-6.
- Miranda, C. S. (1967). Origen de *Phaseolus vulgaris* L. (frijol común). *Agrociencia* 1(2): 99-109.
- Moreno, R.O. (1972).-Las asociaciones de maíz y frijol, un uso alternativo de la tierra. Tesis de M.C., C.P. de la E.N.A. Chapingo, Méx.
- Muñoz, L. (2018). Asociación de cultivo en el Huerto. <https://www.agrohuerto.com/asociacion-de-cultivos-compatibilidad-entre-plantas/> (acceso: 10/10/2019).
- Narváez, G. E.D., Figueroa, J.D.C., Taba, S., Castaño, T.E., and Peniche, R. M. (2006). Relationships between the microstructure,

physical features, and chemical composition of different maize accessions from Latin America. *Central Chem.* 83: 595-604.

- Palaniswamy, U. R., and Palaniswamy, K. M. (2006). *Handbook of statistics for teaching and research in plant and crop science*. The Harworth Press, Inc., New York. 624p.
- Popcorn USA. (2015). Consejo Americano del Maíz Palomero. Las palomitas en la historia Americana. Disponible en: <http://www.palomitasdemaiz.org/index.html>.
- Rajcan, I. , and Swanton, C. J. (2001). Understanding maize-weed competition: resource competition, light quality and the whole plant. *Field Crops Research* 71: 139-150.
- Rodríguez, G. H., Acosta, L. L., Hechevarría, S. I., Milanés F. M., y Rodríguez, F. C. A. (2008). Estudio comparativo entre el monocultivo y la asociación de cultivo en varias plantas medicinales. *Revista Cubana de Plantas Medicinales* 13 (3): 1-7.
- Romero, N., J., Grether, R., Ricalde, S. L. C. y Johnson, C. D. (2005). Método para la evaluación de daño de semillas por Brúquidos (Insecta: Coleoptera) en el campo, con nuevos registros de hospederos y distribución para el grupo, In: Morales M., A., Mendoza E., A., Ibarra G., M. P. & Stanford C., S. (Eds.). *Entomología Mexicana*, Vol. 4, Sociedad Mexicana de Entomología pp: 107-111.

- Santalla M., Rodiño A. P., Casquero P. A., and Ron A. M. 2001a. Interactions of bush bean intercropped with field and sweet maize. *European Journal of Agronomy*, 15: 185–196.
- Santalla, M., Amurrio J. M., Rodiño, A. P., de Ron, A. M. 2001b. Variation in traits affecting nodulation of common bean under intercropping with maize and sole cropping. *Euphytica* 122: 243-255.
- Serna, S.S.O. (1999). Utilización Industrial del Maíz en México. 2º Taller Nacional de Especialidades de Maíz. 9 y 10 de Septiembre de 1999. Saltillo, Coah. México pp: 101-102.
- Tochihuitl. J., Ma del R. Rosas. H. vite. A. Pazarán. V. Morales y D. García. 2003. Tecnología de Cereales y Oleaginosas. Coordinación General de Universidades Tecnológicas (CGUT). México D.F. 187p.
- Tsubo, M, and Walker, S. (2005). Relationships between photosynthetically active radiation and clearness index at Bloemfontein, South Africa. *Theor. Appl. Climatol.* 80: 17–25.
- Valladares, C.A. (2010). Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano. Universidad Nacional Autónoma de Honduras Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico (CURLA). Pp: 3, 6,7,8,9.
- Vélez, V. L. D, Clavijo, P. J, Ligarreto, y M. G. A. (2007). Análisis ecofisiológico del cultivo asociado maíz (*Zea mays L.*) - frijol voluble (*Phaseolus vulgaris L.*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía* 60(2): 3965-3984.

- Verheul, M.J., Picatto, C., and Stamp, P. (1996). Growth and development of maize (*Zea mays* L.) seedlings under chilling conditions in the field. *European Journal of Agronomy*, 5: 31-43.
- Villanueva Flores R.. (2008). El maíz reventador como alternativa industrial. *Ingeniería Industrial*, n.o 26, pp. 113-124.
- Wellhausen, E. J., Roberts, L. M, y Hernández, X.E (1949). Razas de maíz en México, su origen, características y distribución. México: Oficina de Estudios Especiales, Secretaria de Agricultura y Ganadería, México., D.R. 256p.
- Zavaleta M, E. (1999). Alternativas de manejo de las enfermedades de las plantas. *Terra Latinoamericana* 17 (3): 201-207.