



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE BOTÁNICA

MANEJO DEL AYOCOTE *Phaseolus coccineus* L. PARA MAYOR EFICIENCIA EN EL USO DE INSUMOS Y CALIDAD DE RENDIMIENTO EN ESPALDERA VIVA Y CONVENCIONAL EN AMBIENTES CONTRASTANTES

Néstor Jorge Rojas Victoria

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

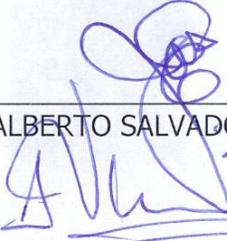
2017

La presente tesis titulada: "**Manejo del ayocote *Phaseolus coccineus* L. para mayor eficiencia en el uso de insumos y calidad de rendimiento en espaldera viva y convencional en ambientes contrastantes**", realizada por el alumno: **Néstor Jorge Rojas Victoria**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
BOTÁNICA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)



DR. JOSÉ ALBERTO SALVADOR ESCALANTE ESTRADA

ASESOR (A)



DR. F. VÍCTOR CONDE MARTÍNEZ

ASESOR (A)



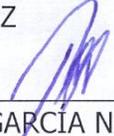
DR. JOSÉ APOLINAR MEJÍA CONTRERAS

ASESOR (A)



DR. RAMÓN DÍAZ RUÍZ

ASESOR (A)



DR. JOSÉ RODOLFO GARCÍA NAVA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, junio de 2017

MANEJO DEL AYOCOTE *Phaseolus coccineus* L. PARA MAYOR EFICIENCIA EN EL USO DE INSUMOS Y CALIDAD DE RENDIMIENTO EN ESPALDERA VIVA Y CONVENCIONAL EN AMBIENTES CONTRASTANTES

Néstor Jorge Rojas Victoria
Colegio de Postgraduados, 2017

RESUMEN

El estudio se desarrolló en los ciclos de producción 2013 y 2014, en Montecillo Texcoco, Estado de México. En 2013 se evaluó la producción de biomasa (BT) y rendimiento de grano (RG) en ayocote sembrado en unicultivo y en espaldera viva con diferentes cultivares de maíz. Para 2014 se evaluó el efecto de la densidad de población (DP), fertilización nitrogenada (N), fertilización con biofertilizante (BIO) y calidad nutrimental en ayocote en asociación con maíz. Los resultados del 2013 indican que el ayocote en unicultivo presentó mayor RG (227 g m^{-2}), BT (545 g m^{-2}) en relación a los cultivos de ayocote en asociación, el ayocote asociado con maíz híbrido HS2 mostró los valores más altos en RG (202 g m^{-2}), BT (514 g m^{-2}), los cambios en el rendimiento del ayocote se relacionan a los cambios en el índice de cosecha, número de granos, vainas y tamaño del grano. Para 2014, los resultados señalaron que con la DP de 12 plantas m^{-2} con la combinación de tres plantas de ayocote y una de maíz se logró el mayor RG (860 g m^{-2}), y BT (258 g m^{-2}), esto en consecuencia en que hay menos competencia interespecífica entre el ayocote y el maíz. Con la aplicación de $150 \text{ kg de N ha}^{-1}$, se registraron los valores más altos en RG (806 g m^{-2}), y BT (2124 g m^{-2}), esto como consecuencia de aumentos en el tamaño del dosel vegetal, mayor tasa de asimilación neta y tasa de crecimiento del cultivo. En combinación de BIO y $150 \text{ kg de N ha}^{-1}$, se presentó el RG (826 g m^{-2}) y BT (2214 g m^{-2}) más altos con respecto al testigo, se observó incrementos en el contenido de proteína y menor contenido de carbohidratos en las semillas de ayocote.

Palabras clave: fertilización, densidad de población, calidad nutrimental, rendimiento de grano.

MANAGEMENT OF THE AYOCOTE *Phaseolus coccineus* L. FOR GREATER EFFICIENCY IN THE USE OF INPUTS AND QUALITY OF YIELD IN LIVING AND CONVENTIONAL TRELLIS IN CONTRASTING ENVIRONMENTS.

Néstor Jorge Rojas Victoria
Colegio de Postgraduados, 2017

ABSTRACT

The study was carried out in the 2013 and 2014 production cycles, at Montecillo Texcoco, State of Mexico. In 2013 the production of biomass (TB) and grain yield (GY) in ayocote planted in uniculture and live trellis with different maize cultivars were evaluated. For 2014, the effect of population density (PD), nitrogen fertilization (N), biofertilizer (BIO) and nutrient quality on ayocote in association with maize were evaluated. The results of 2013 indicated that uniculture ayocote presented higher GY (227 g m⁻²), TB (545 g m⁻²) in relation to ayocote associated with corn, ayocote associated with HS2 hybrid corn showed the highest values High in GY (202 g m⁻²), TB (514 g m⁻²), changes in ayocote yield are related to changes in crop index, number of grains, pods and grain size. For 2014, the results indicated that the highest GY (860 g m⁻²), TB (258 g m⁻²) was achieved with the PD of 12 plants m⁻² with the combination of three ayocote and one maize plants. This in consequence that there was less inter-specific competition between ayocote and maize. With the application of 150 kg of N ha⁻¹, the highest values were recorded in GY (806 g m⁻²) and TB (2124 g m⁻²), as a consequence of increases in canopy size, higher net assimilation rate and crop growth rate. In the combination of BIO and 150 kg of N ha⁻¹, the GY (826 g m⁻²) and TB (2214 g m⁻²) were higher than the control, increases in protein content and lower carbohydrate content in ayocote seeds.

Key words: fertilization, population density, nutritional quality, grain yield.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca y el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de Posgrado.

Al Colegio de Postgraduados, por abrirme sus puertas y brindarme las facilidades para forjar mi formación académica.

Al Dr. José Alberto Salvador Escalante Estrada, por su valioso e incondicional apoyo, enseñanza y buen consejo para mi formación académica y por la dirección brindada para la tesis doctoral.

Al Dr. F. Víctor Conde Martínez, por su disponibilidad, observaciones y el apoyo brindado durante la realización del presente estudio de investigación.

Al Dr. José Apolonar Mejía Contreras, por sus valiosas aportaciones y sugerencias al presente estudio de investigación.

Al Dr. Ramón Díaz Ruíz, por su disposición e interés para la realización del presente estudio de investigación.

Al Dr. José Rodolfo García Nava, por el apoyo otorgado, disponibilidad y observaciones al presente estudio de investigación.

A la M.C. María Teresa Rodríguez González, por sus consejos, observaciones, por su valiosa amistad, por su motivación y apoyo durante el presente estudio de investigación.

A los Doctores del Colpos que contribuyeron y compartieron parte de sus conocimientos en mi formación profesional.

A mis compañeros del Laboratorio de Ecofisiología y las personas que me apoyaron durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

DEDICATORIAS

A mi madre Tomasa Rojas Victoria, por su apoyo incondicional para la realización de todas mis metas.

A mis hermanos Miguel Flores Rojas y Guadalupe Rojas Victoria, por el apoyo incondicional.

A mi Familia Rojas Victoria (Martha, Leticia, Abraham, Laura Elena, Miguel, Gabriela, Mauricio y Renata) por su cariño y su apoyo constante en todo momento.

A todos mis amigos a quienes agradezco su amistad y apoyo brindado.

CONTENIDO

| | Página |
|---|---------------|
| RESUMEN | i |
| ABSTRACT..... | iii |
| AGRADECIMIENTOS..... | iv |
| DEDICATORIA..... | v |
| LISTA DE CUADROS..... | ix |
| LISTA DE FIGURAS..... | xiii |
| INTRODUCCIÓN GENERAL..... | 1 |
| LITERATURA CITADA..... | 3 |
| CAPITULO I. PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y RENDIMIENTO DE AYOCOTE ASOCIADO CON DIFERENTES CULTIVARES DE MAÍZ..... | 5 |
| RESUMEN..... | 6 |
| ABSTRACT..... | 8 |
| INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 12 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 14 |
| Fenología y elementos del clima..... | 14 |
| Unidades calor y Evapotranspiración..... | 16 |
| Rendimiento en grano y componentes..... | 20 |
| Biomasa total e Índice de cosecha..... | 24 |
| Eficiencia en el uso del agua..... | 26 |
| CONCLUSIONES..... | 29 |
| LITERATURA CITADA..... | 30 |
| CAPITULO II. CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE AYOCOTE EN ASOCIACIÓN CON DIFERENTES CULTIVARES DE MAÍZ..... | 35 |
| RESUMEN..... | 36 |
| ABSTRACT..... | 38 |
| INTRODUCCIÓN..... | 40 |
| MATERIALES Y METODOS..... | 43 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 45 |
| Fenología y elementos del clima..... | 45 |

| | |
|---|-----------|
| Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano..... | 46 |
| Crecimiento de cultivo..... | 48 |
| Número de hojas verdes, índice y duración del área foliar..... | 48 |
| Análisis de crecimiento..... | 52 |
| Tasa media de asimilación neta (TAN)..... | 52 |
| Tasa media de crecimiento de cultivo (TCC)..... | 56 |
| Biomasa total, acumulación y distribución en los órganos de la planta..... | 59 |
| CONCLUSIONES..... | 65 |
| LITERATURA CITADA..... | 66 |
| CAPITULO III. RENDIMIENTO DEL AYOCOTE Y MAÍZ EN EL AGROSISTEMA ASOCIADO EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE PLANTAS POR MATA..... | 70 |
| RESUMEN..... | 71 |
| ABSTRACT..... | 72 |
| INTRODUCCIÓN..... | 73 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 75 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 78 |
| Fenología y elementos del clima..... | 78 |
| Biomasa total (BT), índice de cosecha (IC%) y rendimiento de grano (RG) de Ayocote..... | 79 |
| Índice de cosecha (IC) | 81 |
| Rendimiento de grano y sus componentes..... | 82 |
| Biomasa y rendimiento en grano y rentabilidad de la asociación ayocote-maíz..... | 85 |
| CONCLUSIONES..... | 89 |
| LITERATURA CITADA..... | 90 |
| CAPITULO IV. ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE AYOCOTE EN ESPALDERA DE MAÍZ CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA..... | 94 |
| RESUMEN..... | 95 |
| ABSTRACT..... | 97 |
| INTRODUCCIÓN..... | 99 |
| MATERIALES Y METODOS..... | 101 |

| | |
|---|------------|
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 104 |
| Fenología y elementos del clima..... | 104 |
| Rendimiento de grano y sus componentes..... | 105 |
| Biomasa, índice de cosecha..... | 107 |
| Número de hojas verdes, índice de área foliar duración del área foliar..... | 109 |
| Análisis de crecimiento..... | 111 |
| Tasa de asimilación neta (TAN)..... | 111 |
| Tasa media de crecimiento (TCC)..... | 112 |
| Biomasa total, acumulación y su distribución en los órganos de la planta..... | 114 |
| Eficiencia del uso del agua (EUA)..... | 117 |
| Eficiencia agronómica del nitrógeno (EAN)..... | 118 |
| Análisis económico..... | 119 |
| CONCLUSIONES..... | 121 |
| LITERTURA CITADA..... | 122 |
| CAPITULO V. RENDIMIENTO Y CALIDAD NUTRIMENTAL DE AYOCOTE EN ESPALDERA DE MAÍZ Y TIPO DE FERTILIZACIÓN..... | 126 |
| RESUMEN..... | 127 |
| ABSTRACT..... | 129 |
| INTRODUCCIÓN..... | 131 |
| MATERIALES YMÉTODOS..... | 133 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 136 |
| Rendimiento de grano y sus componentes..... | 136 |
| Biomasa total..... | 138 |
| Calidad nutrimental del grano de ayocote..... | 140 |
| CONCLUSIONES..... | 144 |
| LITERATURA CITADA..... | 145 |
| DISCUSION GENERAL..... | 148 |
| CONCLUSIONES GENERALES..... | 156 |

LISTA DE CUADROS

| | Página |
|--|--------|
| CAPÍTULO I | |
| Cuadro 1. Unidades Calor del cultivo de ayocote en unicultivo y en asociación con maíz acumuladas durante el ciclo de cultivo verano 2013..... | 17 |
| Cuadro 2. Evapotranspiración acumulada del cultivo de ayocote en unicultivo y en asociación con maíz en el ciclo de cultivo. Verano 2013..... | 18 |
| Cuadro 3. Unidades calor y Evapotranspiración acumuladas por el cultivo de maíz en unicultivo en el ciclo verano 2013..... | 19 |
| Cuadro 4. Evapotranspiración acumulada de maíz en asociación con ayocote en el ciclo de cultivo. Verano 2013..... | 20 |
| Cuadro 5. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes de ayocote (<i>P. coccineus</i> L.), en asociación con maíz. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2013..... | 21 |
| Cuadro 6. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes de cultivares de maíz en unicultivo. Montecillo México. Verano-Otoño. 2013..... | 23 |
| Cuadro 7. Cuadro 7. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes de maíz en asociación con ayocote. Montecillo México. Verano-Otoño. 2013..... | 24 |
| Cuadro 8. Eficiencia en el uso del agua (EUA) del cultivo de ayocote (<i>Phaseolus coccineus</i> L) en unicultivo y en asociación con cultivares de maíz. Verano de 2013..... | 27 |
| Cuadro 9. Eficiencia en el uso del agua (EUA) del cultivo de maíz en unicultivo y en asociación con ayocote (<i>Phaseolus coccineus</i> L.). Verano de 2013.. | 28 |
| CAPÍTULO II | |
| Cuadro 1. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano de ayocote (<i>P. coccineus</i> L.), en asociación con maíz. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2013..... | 47 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Cuadro 2. | Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes de cultivares de maíz en unicultivo y asociado. Montecillo México. Verano-Otoño. 2013..... | 48 |
| Cuadro 3. | Número de hojas verdes (NHV m ²), índice de área foliar (IAF) y duración de área foliar total (DAFT) de ayocote (<i>P. coccineus</i> L.) en unicultivo y en asociación con maíz. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2013..... | 49 |
| Cuadro 4. | Número de hojas verdes (NHV m ²), índice de área foliar (IAF) y duración de área foliar total (DAFT) de maíz en unicultivo y asociado con ayocote. Montecillo México. Verano-Otoño. 2013..... | 51 |

CAPÍTULO III

| | | |
|-----------|---|----|
| Cuadro 1. | Tratamientos que generaron la combinación de número de plantas de ayocote (NPA) y número de plantas de maíz (NPM) por mata, en la siembra asociada ayocote-maíz. Montecillo, Méx. Verano 2014..... | 76 |
| Cuadro 2. | Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes de ayocote (<i>P. coccineus</i> L.), en asociación en función del NPA y NPM por mata. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014..... | 80 |
| Cuadro 3. | Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes de maíz chalqueño cv azul, en asociación con frijol ayocote. Montecillo México. Verano-Otoño. 2014..... | 81 |
| Cuadro 4. | Correlación entre el rendimiento de grano con el número de granos (NG), número de vainas (NV), número de granos por vaina (GV) y tamaño de grano (TG)..... | 85 |
| Cuadro 5. | Correlación entre el rendimiento de grano de maíz con el número de granos (NG), tamaño de grano (TG) y granos por mazorca (GM)..... | 85 |
| Cuadro 6. | Análisis económico de ayocote asociado con maíz chalqueño cv azul. Montecillo México. Verano, 2014..... | 86 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Cuadro 7. | Análisis económico de maíz chalqueño cv azul en asociación con ayocote. Montecillo México. Verano, 2014..... | 87 |
| Cuadro 8. | Análisis económico de la interacción de ayocote asociado con maíz chalqueño cv azul. Montecillo México. Verano, 2014..... | 88 |

CAPÍTULO IV

| | | |
|-----------|--|-----|
| Cuadro 1. | Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano de ayocote (<i>P. coccineus</i> L.), en espaldera con maíz, en función de fertilización nitrogenada. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014..... | 106 |
| Cuadro 2. | Correlación entre Rendimiento en grano (RG, gm ⁻²), Biomasa Total (BT, gm ⁻²), No de vainas, m ⁻² (NV), No de grano, m ⁻² (NG), Granos por vaina (GV,) de ayocote en función de la fertilización nitrogenada. Montecillo, Texcoco, Méx. Verano 2014..... | 107 |
| Cuadro 3. | Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano de ayocote (<i>P. coccineus</i> L.), en espaldera con maíz, en función de fertilización nitrogenada. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014..... | 108 |
| Cuadro 4. | Número de hojas verdes (NHV m ²), índice de área foliar (IAF) y duración de área foliar total (DAFT) de ayocote (<i>P. coccineus</i> L.) en espaldera de maíz en función de fertilización Nitrogenada. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014..... | 110 |
| Cuadro 5. | Eficiencia en el uso del agua (EUA) y eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN) del cultivo de ayocote (<i>Phaseolus coccineus</i> L) en espaldera con maíz, en función de fertilización nitrogenada. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014..... | 119 |
| Cuadro 6. | Análisis económico del cultivo de ayocote en espaldera de maíz en función de la fertilización nitrogenada. Montecillo México. Verano 2014..... | 120 |

CAPÍTULO V

| | | |
|-----------|--|-----|
| Cuadro 1. | Análisis de varianza del rendimiento de grano (RG), biomasa total (BT), número de vainas (NV m ⁻²), número de granos (NG m ⁻²) y número de granos por vaina de ayocote en espaldera de maíz en función de la fertilización nitrogenada y biofertilizante. Montecillo, Texcoco, Méx. Verano 2014..... | 137 |
| Cuadro 2. | Rendimiento de grano, Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de grano de ayocote (<i>P. coccineus</i> L.), en espaldera con maíz, en función de fertilización nitrogenada. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014..... | 138 |
| Cuadro 3. | Acumulación de biomasa en las estructuras de la planta de ayocote (<i>P. coccineus</i> L.) en espaldera con maíz, en función de fertilización nitrogenada y biofertilizante. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014..... | 139 |
| Cuadro 4. | Análisis de varianza de los componentes de calidad nutrimental para semilla de ayocote en espaldera de maíz en función de la fertilización nitrogenada y biofertilizante. Montecillo, Texcoco, Méx. Verano 2014. | 141 |
| Cuadro 5. | Análisis nutrimental de grano de ayocote (<i>P. coccineus</i> L.), en espaldera con maíz, en función de fertilización nitrogenada. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014..... | 142 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|--|---------------|
| Figura 1 Distribución de la Temperatura máxima (T _{máx}) y mínima (T _{mín}) (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de los cultivos de maíz y ayocote. Montecillo, Méx. Verano 2013..... | 15 |
| Figura 2. Unidades calor y evapotranspiración acumulada en cultivo de ayocote en unicultivo y en asociación con maíz..... | 16 |
| Figura 3 Unidades calor y evapotranspiración acumulada en cultivo de Maíz en unicultivo y en asociación con maíz..... | 19 |

CAPÍTULO II

| | |
|---|----|
| Figura 1. Distribución de la Temperatura máxima (T _{máx}) y mínima (T _{mín}) (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de los cultivos de maíz y ayocote. Montecillo, Méx. Verano 2013..... | 46 |
| Figura 2. Dinámica de la tasa de asimilación neta (TAN) de ayocote (<i>P. coccineus</i> L.) en unicultivo y en asociación con maíz. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2013..... | 53 |
| Figura 3. Dinámica de la tasa de asimilación neta (TAN) de maíz en unicultivo. Montecillo México. Verano-Otoño. 2013..... | 54 |
| Figura 4. Dinámica de la tasa de asimilación neta (TAN) de maíz en asociado con ayocote. Montecillo México. Verano-Otoño. 2013..... | 55 |
| Figura 5. Dinámica de la tasa de crecimiento de cultivo (TCC) de ayocote (<i>P. coccineus</i> L.) en unicultivo y en asociación con maíz. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2013..... | 57 |
| Figura 6. Dinámica de la tasa de crecimiento de cultivo (TCC) de maíz en unicultivo. Montecillo México. Verano-Otoño. 2013..... | 58 |
| Figura 7. Dinámica de la tasa de crecimiento de cultivo (TCC) de maíz en asociado con ayocote. Montecillo México. Verano-Otoño. 2013..... | 58 |
| Figura 8. Dinámica de acumulación de biomasa de ayocote (<i>P. coccineus</i> L.) en unicultivo y en asociación con maíz durante el ciclo de cultivo. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2013..... | 60 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 9. | Biomasa total y su distribución en los órganos de ayocote en unicultivo y en asociado con maíz. . Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2013..... | 61 |
| Figura 10. | Dinámica de acumulación de biomasa de maíz en unicultivo durante el ciclo de cultivo. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2013..... | 62 |
| Figura 11. | Dinámica de acumulación de biomasa de maíz en asociado con ayocote durante el ciclo de cultivo. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2013..... | 62 |
| Figura 12. | Biomasa total y su distribución en los órganos de maíz en unicultivo durante el ciclo de cultivo. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2013..... | 63 |
| Figura 13. | Biomasa total y su distribución en los órganos de maíz en asociación con ayocote durante el ciclo de cultivo. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2013..... | 64 |

CAPÍTULO III

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 1. | Temperatura máxima (T _{máx}) y mínima (T _{mín}) (media decenal), la suma decenal de la evaporación (E _{vp} , mm) y precipitación (P _{pt} , mm) durante el ciclo de los cultivos de maíz y ayocote. Montecillo, Méx. 2014..... | 78 |
|-----------|---|----|

CAPÍTULO IV

| | | |
|-----------|--|-----|
| Figura 1. | Distribución de la Temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de Ayocote. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. Ciclo 2014..... | 105 |
| Figura 2. | Dinámica de la tasa de asimilación neta (TAN) de ayocote (<i>P. coccineus</i> L.) en espaldera de maíz. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014..... | 111 |
| Figura 3. | Dinámica de la tasa de crecimiento de cultivo (TCC) de ayocote (<i>P. coccineus</i> L.) en espaldera de maíz. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014..... | 113 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Figura 4. | Dinámica de la producción de la biomasa total y rendimiento en grano del cultivo de ayocote en espaldera viva de maíz en función de fertilización nitrogenada, Montecillo, Texcoco, Edo de Méx. México, verano 2014..... | 115 |
| Figura 5. | Dinámica de la producción de la biomasa total y su distribución del cultivo de ayocote (<i>P. coccineus</i>) en espaldera viva de maíz en función de fertilización nitrogenada, Montecillo, Texcoco, Edo de Méx. México, verano 2014..... | 116 |

CAPÍTULO V

| | | |
|-----------|---|-----|
| Figura 1. | Rendimiento de grano de ayocote en espaldera de maíz en función de niveles de fertilización nitrogenada y biofertilizante. **= $P\leq 0.01$. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014..... | 136 |
| Figura 2. | Biomasa total de ayocote en espaldera de maíz en función de niveles de fertilización nitrogenada y biofertilizante. **= $P\leq 0.01$. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014..... | 140 |
| Figura 3. | Rendimiento en proteína y carbohidratos del grano de ayocote en función de fertilización nitrogenada, Montecillo, Texcoco, Edo de Méx. México, verano 2014..... | 143 |

INTRODUCCIÓN GENERAL

El ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa originaria de las zonas templadas del territorio mexicano, con gran potencial de uso y aprovechamiento con fines alimenticios para la población mediante el uso de su follaje, flores, vainas y semillas (Díaz y Escalante, 2011; Rojas *et al* 2015). Tiene importancia económica, por el aporte de proteína (de 20 a 23 %) y carbohidratos (58 a 70 mg g⁻¹) que contiene su semilla (Jacinto *et al.*, 2002; Pichardo, 2005; Ulloa *et al.*, 2011). El ayocote presenta diversos tipos de crecimiento arbustivo o de hábito tipo trepador, este último requiere de un tutor o espaldera para dar soporte a la planta, estos pueden ser postes de madera o de metal con mallas de plástico, o utilizar especies vegetales como el maíz (espalderas vivas) (Delgado *et al.*, 2014; Rojas *et al.*, 2015).

Es necesario generar información sobre el manejo del cultivo y su comportamiento en diferentes condiciones ambientales que promuevan su siembra y producción. Mediante el uso de prácticas agrícolas como la fertilización nitrogenada y la densidad de población se provee a los cultivos de las condiciones más favorables para la expresión de un mayor rendimiento (Apáez *et al.*, 2013; Escalante *et al.*, 2015). La aplicación de N contribuye en gran medida al crecimiento del dosel vegetal y la expansión foliar, en cantidades apropiadas favorecen la producción de materia seca (MS) y rendimiento final de grano (RG). Asimismo, la complementación con biofertilizantes (inoculación de microorganismos simbióticos como hongos y bacterias), que ayudan a complementar el requerimiento nutrimental y disminuir la aplicación de fuentes inorgánicas, las cuales además de incrementar los costos, presentan pérdidas por lixiviación y volatilización de algunos fertilizantes (Galdámez *et al.*, 2010; Díaz *et al.*, 2010). El efecto positivo de ambos tipos de fertilización es por el suministro de macro y micronutrientes, así como la fijación

biológica de nitrógeno e incremento en el volumen del sistema radical de la planta (Irizar *et al.*, 2003, Ramana *et al.*, 2010). Para lograr una producción sustentable de ayocote es necesario estudiar prácticas agrícolas como densidad de población, niveles de fertilización apropiados para obtener en lo posible un incremento en la producción de este cultivo (Salinas *et al.*, 2011). El objetivo general fue determinar las prácticas de manejo (densidad de población, arreglos topológicos y fertilización nitrogenada) más apropiadas para una mayor eficiencia, incremento de rendimiento y calidad nutrimental de ayocote en asociación con maíz. La hipótesis es que mediante las prácticas de manejo del cultivo como la densidad de población, arreglo topológico y fertilización nitrogenada se puede elevar la eficiencia en el uso del agua, rendimiento de grano y calidad de semilla en ayocote en unicultivo y en asociación con maíz. La información derivada de esta investigación se presenta en cinco capítulos. En los capítulos I y II se analizó el efecto de la asociación del ayocote con distintos cultivares de maíz sobre la producción de grano y biomasa total. En el capítulo III, se evaluó el efecto de diferentes densidades de población y arreglo topológico en la producción de biomasa total, el rendimiento de grano y sus componentes de ayocote asociado con maíz. En el IV capítulo, se muestra la evaluación de los efectos de la aplicación nitrogenada sobre el desarrollo, tamaño y duración del dosel vegetal, la producción de biomasa total y rendimiento de grano de ayocote en espaldera de maíz. El capítulo V presenta los resultados del efecto de la combinación de fertilización nitrogenada y biofertilizante sobre el rendimiento de grano, biomasa total y calidad nutrimental del grano de ayocote en espaldera de maíz.

LITERATURA CITADA

- Apáez, B. P., J.A.S. Escalante-Estrada, M.T. Rodríguez-Gutiérrez. 2013. Producción de vaina verde en frijol chino y tipo de espaldera en clima cálido. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19(1): 129-140
- Delgado, M.R., J.A.S. Escalante-Estrada, R. Díaz R., A. Trinidad S., E. Morales J., E. Sosa M. 2014. Defoliación en maíz y su efecto sobre el rendimiento de frijol-maíz en asociación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.5 Núm.6 14 p. 1015-1027
- Díaz-López, E., J.A.S. Escalante-Estrada., M.T. Rodríguez-González, A. Gaytán. 2010. Producción de frijol ejotero en función del tipo de espaldera. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 16: 215-221.
- Díaz-Ruíz R y Escalante Estrada J. A. S. 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) en función del nitrógeno, fósforo y densidad de población. *Investigación interdisciplinaria para el desarrollo rural en Puebla y Tlaxcala*. p. 102-118.
- Escalante-Estrada, J.A.S., M.T. Rodríguez-González, Y.I. Escalante-Estrada. 2015. Acumulación y distribución de materia seca en cultivares de maíz asociados con frijol en clima templado, *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*, Núm. 12, 139-143.
- Galdámez-Galdámez, J., C.E. Aguilar-Jiménez, A. Gutiérrez-Martínez, J.A. Morales-Cabrera, S. Mendoza-Pérez, F. Martínez-Aguilar. 2010. Maíz asociado con frijol, canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) y calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) en Villaflores, Chiapas. *Quehacer Científico en Chiapas* 2010 1(10) 18-29.
- Irizar, G. M., P. Vargas V., D. Garza, G., C. Tut C., I. Rojas M., A. Trujillo C., R. García S., D. Aguirre M., Y. Martínez G. 2003. Respuesta de los cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agricultura Técnica de México*. 29(2): 213-225.
- Jacinto-Hernández, C., I. Bernal L., R. Garza, G. 2002. Food quality of drybean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces from different states of Mexico. *Ann. Rep. Bean Improv. Coop.* 45:222-223.
- Pichardo, G.J.M. 2005. Fecha de siembra, rendimiento y calidad de la semilla de *Phaseolus coccineus* L. Montecillo, México. Tesis Maestría en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad Producción de Semillas. Colegio de Posgraduados. P: 69.
- Ramana V.; M. Ramakrishna; K. Purushotham; K. Balakrishna Reddy. 2010. Effect of bio-fertilizers on growth, yield attributes and yield of french bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Legume Research* Vol. 33, No 3:178-183

Rojas-Victoria N.J.; Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T. 2015. Biomass and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) in association with maize. Ann. Rep. Bean. Improv. Coop. No. 58,129-130.

Salinas R. N., Escalante E. J.A.S.; Rodríguez G. M. T; Sosa M. E. 2011. Yield and nutritional quality of snap vean in terms of biofertilization. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 13 (3): 347-355.

Ulloa J. A., Ulloa P.R., Ramírez R.J.C., Ulloa R.B.E. 2011. El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.): su importancia nutricional y como fuente de fotoquímicos. Revista Fuente Año 3 No. 8 Julio - Septiembre 2011.

CAPITULO I

PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y RENDIMIENTO DE AYOCOTE ASOCIADO CON DIFERENTES CULTIVARES DE MAÍZ

PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y RENDIMIENTO DE AYOCOTE ASOCIADO CON DIFERENTES CULTIVARES DE MAÍZ

RESUMEN

El frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa nativa de México con gran potencial de uso y aprovechamiento con fines alimenticios para la población humana mediante el uso de su follaje, flores, vainas y semillas. Una alternativa es la siembra del ayocote en asociación con maíz, que sirve como espaldera. El objetivo del presente estudio fue determinar la producción de biomasa y rendimiento de Ayocote sembrado en unicultivo y en asociado con diferentes cultivares de maíz. El estudio se estableció en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, con un clima templado con temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$) y mínima ($T_{\text{mín}}$) promedio de 29°C y 7°C , respectivamente y condiciones de lluvia en verano con una precipitación de 512 mm. La siembra se realizó el 23 de mayo de 2013; se utilizó un cultivar de ayocote de grano color violeta y tres cultivares de maíz criollo y un maíz Híbrido. Se realizaron dos tipos de siembra a) siembra en asociación con maíz y ayocote, y b) siembra de ayocote en unicultivo; a la cosecha de ambos cultivos se registró el rendimiento de grano (RG) y sus componentes de rendimiento; biomasa total (BT); eficiencia en el uso de agua para grano (EUA). El ayocote en unicultivo presentó mayor RG (227 g m^2), BT (545 g m^2) y EUA ($0.60\text{ g m}^{-2}\text{ mm}^{-1}$) en relación a los cultivos de ayocote en asociación con maíz, el ayocote asociado con maíz HS2 mostró los valores más altos en RG (202 g m^2), BT (514 g m^2) y ($0.52\text{ g m}^{-2}\text{ mm}^{-1}$), En relación al maíz, el unicultivo HS2 mostró los valores más altos en el RG (731 g m^2), BT (2645 g m^2) y EUA ($2.28\text{ g m}^{-2}\text{ mm}^{-1}$), los cultivos en asociación, el maíz HS2 presentó un RG (681 g m^2); BT (2562 g m^2) y EUA ($2.05\text{ g m}^{-2}\text{ mm}^{-1}$). La

producción de biomasa, rendimiento de grano y sus componentes, el eficiente uso del agua en ayocote y cultivares de maíz supera a los tratamientos de siembra asociada. El rendimiento del ayocote asociado con maíz HS2 supera a los asociados con maíces criollos. Los cambios en el rendimiento del Ayocote se relacionan con cambios en el índice de cosecha, número de granos, vainas y tamaño del grano. En maíz los cambios en el rendimiento se relacionaron con el índice de cosecha, longitud de la mazorca y número de granos.

Palabras clave: *Phaseolus coccineus*, asociación, rendimiento de grano, eficiencia del uso del agua.

BIOMASS AND YIELD PRODUCTION OF AYOCOTE ASSOCIATED WITH DIFFERENT CULTIVARS OF MAIZE

SUMMARY.

Bean (*Phaseolus coccineus* L.) is a legume native of México with great potential to use as food for the human population through the use of foliage, flowers, pods and seeds. An alternative to the sow ayocote in association with maize, which serves as a trellis. The objective of the present study was to determine the production of biomass and yield in Ayocote planted in unicultivo and live trellis with different maize cultivars. The study was established in the experimental field of the Colegio de Postgraduados, Montecillo, State of Mexico, with a temperate climate with maximum (Tmax) and minimum (Tmín) temperatures averaging 29 ° C and 7 °C, respectively and rainfall conditions in Summer with a precipitation of 512 mm. The planting date was May 23, 2013; Its was use an ayocote cultivar of violet grain and three corn landraces and a Hybrid corn. Two types of sowing were done a) sowing in association corn with ayocote and b) sowing ayocote in unicultivo; Grain yield (GY) and yield components were recorded for both crops. Total biomass (TB); Efficiency in the use of water for grain (EUWG). The sole ayocote presented higher GY (227 g m⁻²), TB (545 g m⁻²) and EUWG (0.60 g m⁻² mm⁻¹) in relation to ayocote in association, the ayocote associated with HS2, showed with the highest values in GY (202 g m⁻²), TB (514 g m⁻²) and EUWG (0.52 g m⁻² mm⁻¹), In relation to maize, HS2 showed the highest values in GY (731 g m⁻²), TB (2645 g m⁻²) and EUWG (2.28 g m⁻² mm⁻¹), the ayocote in association with HS2 had an GY (681 g m⁻²); TB (2562 g m⁻²) and EUWG (2.05 g m⁻² mm⁻¹). The production of biomass, grain yield and its components, the efficient use of water in ayocote and cultivars of maize surpasses the

associated treatments. The yield of the ayocote associated with HS2 exceeded those associated with native maizes. Changes in Ayocote yield are related to changes in crop index, number of grains, pods and grain size. In maize the changes in yield were related to the harvest index, ear length and number of grains.

Key words: Phaseolus coccineus, association, grain yield, water use efficiency.

INTRODUCCIÓN

El ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa nativa de México con gran potencial de uso y aprovechamiento con fines alimenticios para la población humana mediante el uso de su follaje, flores, vainas y semillas (Basurto *et al.*, 1996). En otras partes del mundo esta leguminosa se aprovecha como planta ornamental, debido al gran tamaño y diversidad de colores del estandarte y las alas de la flor, entre los cuales el más atractivo es el rojo escarlata. Además, también puede usarse como ejote y actualmente existen variedades registradas con este fin (Pichardo, 2005). Tiene una alta adaptación en zonas con altitudes desde 1800 hasta 2400 m (Vargas e Irizar, 2005). En estado silvestre es una planta perenne y su forma cultivada es anual, tradicionalmente se siembra en asociación con maíz (Castillo *et al.*, 2006, Ayala *et al.* 2006).

En la actualidad, ésta especie representa una alternativa para la producción de alimentos en áreas marginales en el altiplano y valles altos de México (Castillo *et al.*, 2006). En dicha región es común la práctica de sembrar simultáneamente dos o más cultivos en el mismo terreno y ciclo de cultivo, cultivos como frijol y maíz coexisten principalmente bajo este tipo de agrosistema de asociación, aunque en menor escala y principalmente por agricultores que tienen extensiones menores de dos hectáreas (Escalante *et al.*, 2015). Una alternativa es la siembra del ayocote en asociación con maíz (el cual funciona como tutor o espaldera viva), debido a que el ayocote tiene un crecimiento tipo trepador (indeterminado), por lo cual es necesario el uso de espalderas, puesto que la espaldera convencional son postes de madera común o de estructuras metálicas con malla, que elevan considerablemente el costo de producción, algunos agricultores no utilizan tutores en la siembra del Ayocote (Rojas *et al.*, 2015). Dicha asociación presenta ventajas, ya que ambas especies por sus diferencias morfológicas (en el sistema radical y vástago) y fisiológicas se

complementan mutuamente en el uso de los recursos (agua, radiación, nutrientes), de la misma forma, influye en la distribución en el espacio, captación de radiación solar y en consecuencia mayor producción de dosel, (Escalante y Kohashi, 2015). Díaz *et al.*, (1995) y Vélez *et al.*, (2009) señalan que en sistemas asociados, se hace un mejor uso del suelo, agua, luz y nutrientes, tanto en tiempo como en espacio. Sin embargo, cuando se siembra bajo este sistema de cultivo existe una reducción en la producción de biomasa y rendimiento de grano de una o ambas especies, debido a la competencia interespecifica por insumos. (Díaz *et al.*, 2010; Delgado *et al.*, 2014). El frijol es el más afectado bajo este esquema con una reducción de 25 a 50% en relación al monocultivo (Tsubo y Walker, 2003; Vélez *et al.*, 2007).

La productividad en los cultivos asociados depende de las relaciones de complementación y de competencia entre las especies componentes del agrosistema (Sarandón y Chamorro 2003; Morales *et al.*, 2008). Cuando el frijol se siembra asociado, la producción de biomasa y rendimiento de semilla pueden ser afectados por la competencia ejercida por la otra especie. Kohashi (1996) y Santalla *et al.* (1999) indicaron que el rendimiento de semilla y el índice de cosecha de frijol se redujeron significativamente cuando fue sembrado asociado con maíz, debido principalmente a la competencia por insumos de cada especie. En ese sentido, Tsubo y Walker (2004) mencionaron que el maíz ejerce sobre el frijol de tipo arbustivo una fuerte competencia que puede reducir en 67% la producción de biomasa total, asimismo el frijol acumuló 40% menos materia seca en la vaina.

Escalante y Rodríguez (2010) señalan que el crecimiento del cultivo está determinado por factores climáticos y la cantidad de nutrientes existentes en el suelo, de la misma forma la producción y distribución de materia seca (MS) de un cultivo es producto de la absorción

de radiación interceptada y el desarrollo del dosel vegetal; puesto que el tamaño y la duración del aparato fotosintético están relacionados con el rendimiento, es de esperarse que las estrategias que conduzcan al incremento de éstos darán en consecuencia un rendimiento más alto. Por lo anterior, El objetivo del presente estudio fue determinar la producción de biomasa y rendimiento en Ayocote sembrado en unicultivo y asociado con diferentes cultivares de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, (19° 29' N y 98° 54' O, 2250 m de altitud), con clima Cw que corresponde al menos seco de los áridos con régimen de lluvias en verano (García, 2005), con un período libre de heladas de 170 días, temperatura media anual de 15.4 °C y precipitación media anual de 512 mm; el suelo presentó las características químicas y físicas siguientes: textura arcillo-limoso, pH de 7.5 (con tendencia alcalina), conductividad eléctrica de 1.71 dS m⁻¹ y materia orgánica de 4 %, (sin problemas de salinidad). La siembra se realizó el 23 de mayo de 2013, con un cultivar (Cv) de Ayocote (Ay) denominado Juchitepec, de grano color violeta, de hábito de crecimiento indeterminado trepador (Tipo IV), con tres cultivares de maíz criollo raza chalqueño de color: azul (MAZ), amarillo (MA) y negro (MN) y con maíz Híbrido (HS2). Se realizaron dos tipos de siembra con densidad de 5 plantas m⁻²; a) siembra en asociación maíz con ayocote, b) siembra de ayocote en unicultivo. La distancia entre matas fue de 0.30 m y 0.80 m entre hileras. Los cultivos se desarrollaron solo con la fertilidad residual del suelo. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió de tres surcos de 5 m de longitud con orientación este a oeste, tomando el surco central como parcela útil.

Durante el desarrollo del cultivo se registraron las variables climáticas: temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$) y mínima ($T_{\text{mín}}$) diaria, evaporación (EVP) y precipitación (PPT), los datos fueron proporcionados por la Estación Agrometeorológica del Colegio de Postgraduados. Se determinó la acumulación de unidades calor por el cultivo (UC), utilizando el método residual (Flores *et al.* 1985; Snyder, 1985; Escalante *et al.* 2011), el cual es descrito por la siguiente relación:

$$UC = [(T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}}) / 2] - TB$$

Dónde: $T_{\text{máx}}$ = Temperatura máxima diaria ($^{\circ}\text{C}$), $T_{\text{mín}}$ = Temperatura mínima diaria ($^{\circ}\text{C}$) y TB = Temperatura base umbral 10°C para frijol (Barrios y López, 2011) y para maíz 10°C (Villalpando y Ruíz, 1993).

La evapotranspiración del cultivo (ET_c) (mm d^{-1}), se calculó a partir de la evaporación del tanque tipo "A", utilizando 0.6 como coeficiente para el evaporímetro y valores de K_c en función del porcentaje de desarrollo del cultivo (0.65 para frijol). (Doorenbos y Pruitt, 1986) a partir de la siguiente relación:

$$ET_c = E_v \times 0.6 \times 0.65$$

Para los días a ocurrencia de las fases fenológicas como: emergencia (E), etapa vegetativa (EV), floración (R6) y madurez fisiológica (R9) para ayocote, se consideraron los criterios presentados por Escalante y Kohashi (2015), mientras que para maíz, los días a: emergencia (E), etapa vegetativa (EV), floración (R1) y madurez fisiológica (R6) se tomó en cuenta el criterio presentado por Hanway (1963). A la cosecha del ayocote se registró el rendimiento de grano (RG en g m^{-2}), y sus componentes: número de vainas m^{-2} (NV); número de granos por vainas (GV); peso de 100 granos (PCG); número de granos m^{-2} (NG), biomasa (materia seca) total (g m^{-2} , BT); índice de cosecha (IC) calculado mediante la relación: $IC = RG/BT$. En maíz se evaluó el rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m^{-2}); número de

hileras (NH); número de granos por hilera (NGH); longitud de mazorca (LM); diámetro de mazorca (DM), peso de 100 granos (PCG), número de granos m^{-2} (NG); biomasa (MS total; $g\ m^{-2}$, BT), índice de cosecha (IC) con la relación $IC=RG/BT$. La eficiencia en el uso del agua para RG (EUAG, $g\ m^{-2}\ mm^{-1}$) se calculó con la ecuación: $EUA= RG / ETc$ (Escalante, 1995). Las variables en estudio se les aplicó un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey $\alpha=0.05$ con el paquete estadístico SAS versión 9.2 (SAS, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología y elementos del clima

Para ayocote y maíz, los días a ocurrencia de las fases fenológicas fueron similares entre tratamientos. En ayocote las fases de E, R6 y R9 ocurrieron a los 14, 73 y 129 días después de la siembra (dds), respectivamente. Para maíz, la E, R1 y R6 fue a los 10, 69 y 142 dds, respectivamente. Durante el desarrollo del cultivo, la precipitación (PP) estacional fue de 412 mm, de la cual el 59% ocurrió en la Etapa vegetativa y el 41 % restante en la reproductiva (Figura 1). Resultados semejantes han sido reportados en frijol de hábito de crecimiento indeterminado en asociación con girasol y maíz por Salinas *et al.* (2008), Díaz-López *et al.* (2010), Delgado *et al.* (2014) para la región de Texcoco, México.

Por otra parte, la evaporación más alta ocurrió durante la etapa vegetativa (valores máximos de 52 mm) y la más baja durante la etapa reproductiva (valores de 10 mm), esto indica que el período de mayor déficit hídrico se presentó durante la etapa vegetativa debido a la temperatura más alta y escasa precipitación (Figura 1). Cabe señalar que un déficit hídrico se observó durante la tercera decena de agosto durante la etapa de R6 (llenado de vaina para

ayocote) y R9 (llenado de grano para maíz) que probablemente pudo afectar el número de grano y en consecuencia el rendimiento de grano.

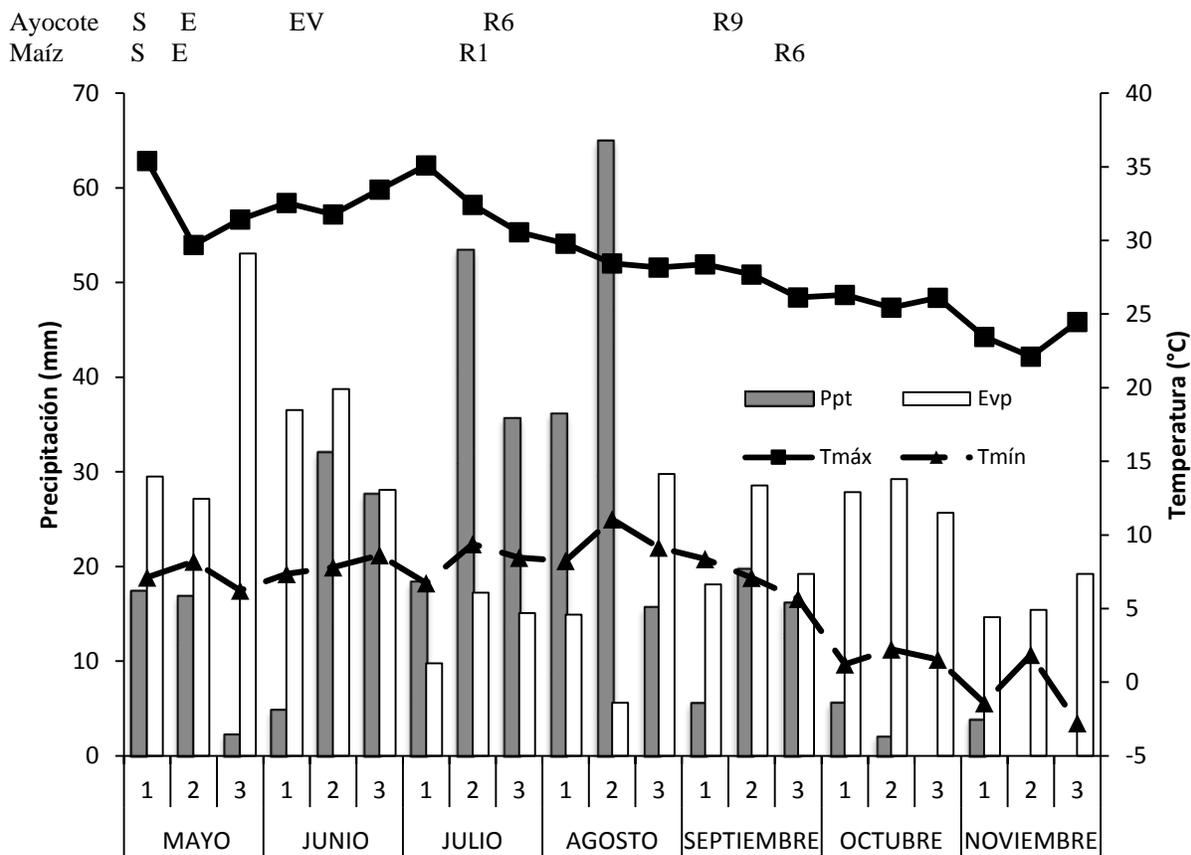


Figura 1. Distribución de la Temperatura máxima (Tmáx) y mínima (Tmín) (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de cultivo de maíz y ayocote. Montecillo, Méx. Verano 2013. Para ayocote E=Emergencia, Ev=Etapa vegetativa, R6= Floración y R9 = Madurez fisiológica; para maíz R1=floración y R6=madurez fisiológica. Ppt=precipitación, Evp=evapotranspiración.

Por otra parte, se observó que durante las etapas vegetativa y reproductiva para ambos cultivos, la temperatura máxima y mínima promedio fue de 29°C y 7°C. La temperatura máxima fue superior a la óptima para ayocote que se reporta en un intervalo de 25°C a 28°C para diferentes variables de *Phaseolus sp.* (Barrios-Gómez *et al*, 2010). La temperatura más alta en promedio fue de 35 °C, (Pérez, 2011 y Cruz, 2014), señalan que la temperatura entre los 25 a 28 °C favorece el desarrollo de un mayor dosel vegetal de

ayocote. Asimismo, la precipitación y la humedad residual influyen en las etapas de crecimiento de los cultivos, específicamente en las primeras etapas de crecimiento (Escalante *et al.* 2001, Barrios-Gómez *et al.*, 2011. Pérez, 2014).

Unidades calor y Evapotranspiración

Las unidades calor (UC) en ayocote en unicultivo y asociado fueron similares, observando que se ajustan a una relación lineal con respecto al tiempo (Figura 2).

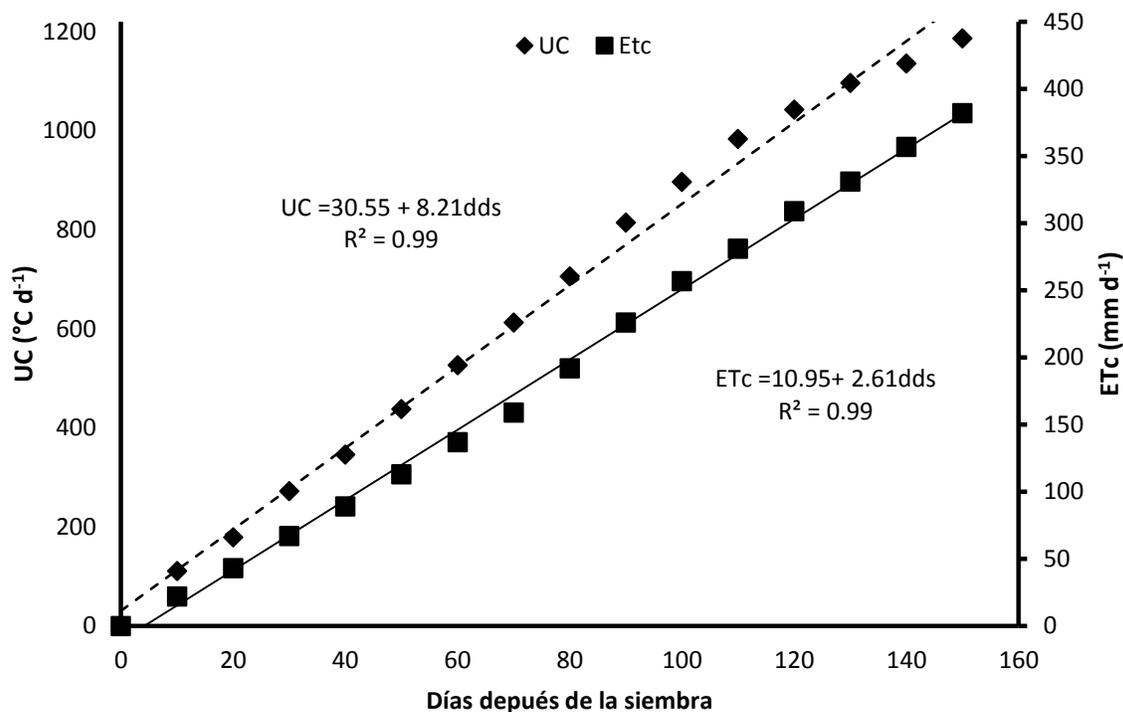


Figura 2. Unidades calor y evapotranspiración acumulada en cultivo de ayocote en unicultivo y en asociación con maíz, ciclo verano-otoño, Montecillo, Estado de México, 2013.

Las UC acumuladas durante la etapa vegetativa (EV), etapa reproductiva (ER) y todo el ciclo de cultivo (CC) fueron de 788, 360 y 1148 °C, respectivamente (Cuadro 1). Valores similares a los obtenidos en el presente trabajo fueron reportados por Cruz. (2014), al evaluar la fenología, fotoperiodo y temperatura acumulada durante el desarrollo del cultivo

de ayocote en la región de Texcoco, edo de México, señala que las UC requeridas para ayocote van desde 628 a 1440 °C día, para su desarrollo, asimismo, Delgado *et al.* (2014) al evaluar el rendimiento de frijol ejotero asociado con maíz reporta datos similares para la misma zona de estudio.

Cuadro 1. Unidades Calor acumuladas del cultivo de ayocote en unicultivo y en asociación con maíz durante el ciclo de cultivo verano 2013.

| Tratamiento | Etapa vegetativa UC(°C d ⁻¹) | Etapa reproductiva UC (°C d ⁻¹) | Ciclo de cultivo UC (°C d ⁻¹) |
|-------------|---|--|--|
| Unicultivo | 763 | 426 | 1189 |
| Ay-HS2 | 774 | 442 | 1216 |
| Ay-MAZ | 781 | 453 | 1234 |
| Ay-MA | 798 | 464 | 1259 |
| Ay-MN | 810 | 466 | 1276 |

Ay-HS2: ayocote asociado con maíz HS2, Ay-MAZ: ayocote asociado con maíz azul; Ay-MA: ayocote asociado con maíz amarillo; Ay-MN: ayocote asociado con maíz negro. UC (unidades calor, C° dia⁻¹)

La evapotranspiración (ETc) del cultivo de ayocote fue similar entre el unicultivo y asociado. Los valores para unicultivo fueron en la EV (238 mm) y en la etapa ER (133 mm), ayocote en asociación fue EV (256 mm) y en ER (132 mm) y la ETc total del ciclo de cultivo fue de 397 mm (Cuadro 2). Lo anterior indica, que el ayocote en unicultivo requiere menos días (unidades calor, UC °C) para llegar a la etapa de maduración fisiológica, en comparación al asociarlo con los cultivares de maíz requiere mayor unidades calor para llegar a madurez fisiológica, lo cual retarda algunas etapas fenológicas como la floración y el llenado de grano prolongando dicha etapas y provocando un ciclo de cultivo más largo. Asimismo, los resultados se pueden atribuir a la distribución de la precipitación y las temperaturas que se registraron durante el ciclo del cultivo del ayocote.

Cuadro 2. Evapotranspiración acumulada del cultivo de ayocote en unicultivo y en asociación con maíz en el ciclo de cultivo. Verano 2013.

| Tratamiento | Emergencia ETc (mm d ⁻¹) | Floración (R1) ETc (mm d ⁻¹) | Madurez (R9) ETc (mm d ⁻¹) | Ciclo de Cultivo ETc (mm d ⁻¹) |
|-------------|---|---|---|---|
| Unicultivo | 29 | 238 | 133 | 374 |
| Ay-HS2 | 32 | 241 | 138 | 385 |
| Ay-MAZ | 36 | 244 | 133 | 389 |
| Ay-MA | 39 | 248 | 128 | 392 |
| Ay-MN | 41 | 251 | 129 | 397 |

Ay-HS2: ayocote asociado con maíz HS2, Ay-MAZ: ayocote asociado con maíz azul; Ay-MA: ayocote asociado con maíz amarillo; Ay-MN: ayocote asociado con maíz negro. ETc: evapotranspiración (mm d⁻¹).

Por otra parte, para los distintos cultivares de maíz en unicultivo y asociado las UC acumuladas tuvieron comportamiento variable (Cuadro 3), el cultivar con menor duración del ciclo fue el HS2 con 152 d a R6 y por consecuencia el menor requerimiento térmico para alcanzar la fases de R1 y R6 (921 y 1654 °C, respectivamente). Para los cultivares criollos, el maíz azul fue el que registró una menor duración de CC de 158 d a R6, el cultivar más tardío fue el maíz Negro (166 d a R6), el cual requirió de 1062 °C día (Cuadro 3). Al respecto, Díaz-López *et al.* (2013) realizaron un estudio en clima templado, señalando que son necesarios, en promedio, 773°C día y 1158°C para alcanzar R1 y R6, respectivamente, en dos cultivares de polinización libre y un híbrido comercial en el Valle de Toluca, México. Por otra parte, Sánchez *et al.* (2014), quienes trabajaron con tres híbridos comerciales y un cultivar criollo reportan que en promedio los híbridos requieren 1719°C día para alcanzar R6, lo cual contrasta con el criollo que resultó ser el más tardío ya que para alcanzar R6 a los 176 dds y 1848°C día.

Cuadro 3. Unidades calor y Evapotranspiración acumuladas por el cultivo de maíz en unicultivo en el ciclo de verano 2013.

| Cultivar | Emergencia | | Floración femenina (R1) | | Madurez Fisiológica (R6) | |
|----------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | UC (°C d ⁻¹) | ETc (mm d ⁻¹) | UC (°C d ⁻¹) | ETc (mm d ⁻¹) | UC (°C d ⁻¹) | ETc (mm d ⁻¹) |
| HS2 | 74 | 26 | 764 | 209 | 1237 | 321 |
| Azul | 98 | 30 | 777 | 245 | 1266 | 337 |
| Amarillo | 102 | 31 | 796 | 251 | 1308 | 341 |
| Negro | 105 | 33 | 801 | 254 | 1357 | 343 |

Cultivares de maíz HS2, MAZ: maíz azul; MA: maíz amarillo; MN: maíz negro. UC (unidades calor, C° dial⁻¹), ETc (Evapotranspiración, mm d⁻¹).

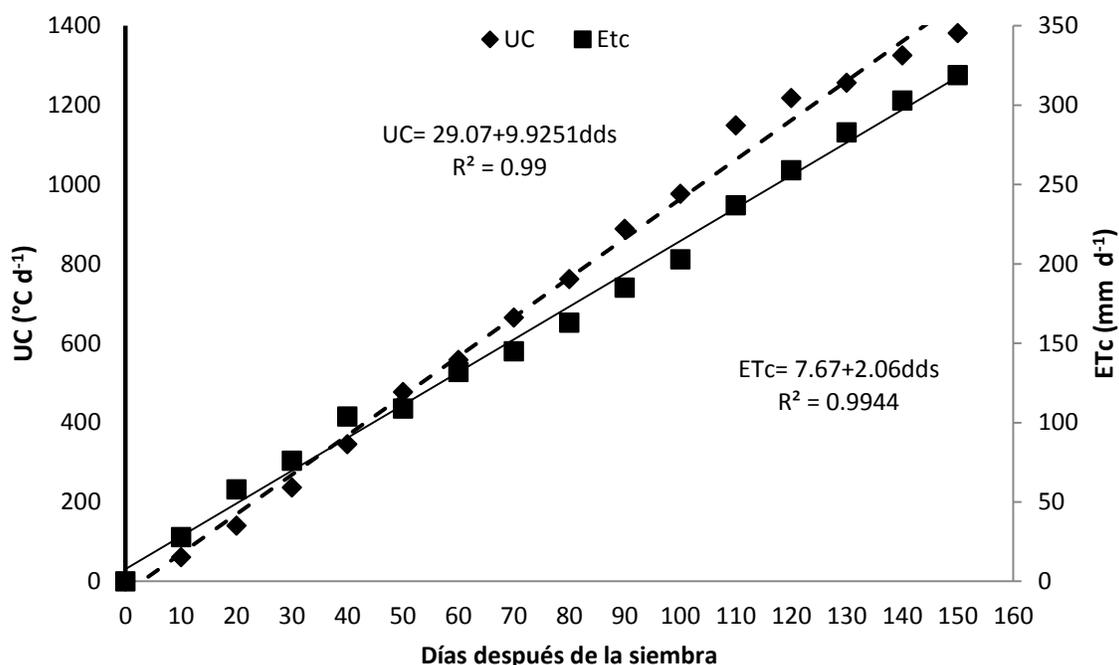


Figura 3. Unidades calor y evapotranspiración acumulada en cultivo de Maíz en unicultivo y en asociación con ayocote. Ciclo verano-otoño, Monceillo, Estado de México. 2013.

El requerimiento hídrico (estimado a través de la ETc) entre los cultivares de maíz mostraron valores similares. Para unicultivo en EV fue de 249 mm y en ER fue 435 mm; para maíz asociado en EV (245 mm) y en ER (442 mm) y la ETc total del ciclo fue de 450 mm (Cuadro 4).

Cuadro 4. Evapotranspiración acumulada de maíz en asociación con ayocote en el ciclo de cultivo. Verano 2013.

| Cultivar | Emergencia | | Floración femenina (R1) | | Madurez Fisiológica (R6) | |
|------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| | UC (°C d ⁻¹) | ETc (mm d ⁻¹) | UC (°C d ⁻¹) | ETc (mm d ⁻¹) | UC (°C d ⁻¹) | ETc (mm d ⁻¹) |
| Ay-HS2 | 82 | 28 | 828 | 216 | 1309 | 332 |
| Ay-Azul | 98 | 33 | 854 | 251 | 1386 | 340 |
| AyAmarillo | 104 | 35 | 890 | 255 | 1438 | 344 |
| Ay-Negro | 109 | 39 | 921 | 259 | 1482 | 349 |

Cultivares de maíz HS2, MAZ: maíz azul; MA: maíz amarillo; MN: maíz negro. UC (unidades calor, C° dia⁻¹), ETc (Evapotranspiración, mm d⁻¹).

HS2 fue el de menor consumo de agua (332 mm) y el de mayor requerimiento fue el maíz negro con 349 mm; el criollo azul destaco por mostrar un requerimiento de agua de 340 mm para alcanzar las etapas fenológicas; esta característica podría verse reflejada en el RG mostrado por este cultivar en R6.

Rendimiento de grano y componentes

El rendimiento de grano (RG), número de granos por m² (NG m²), peso de cien semillas (P100S), número de vainas por m² (NV) y granos por vaina (GV) para el cultivo de ayocote en unicultivo y asociado mostraron cambios significativos (Cuadro 5). El ayocote en unicultivo presentó los valores más altos en RG, NV, NG (227 g m², 224 m² y 4704 m², respectivamente), seguido por ayocote asociado con el Híbrido HS-2 (202 g m², 206 m², 3914 m², respectivamente); la asociación con maíz azul con 184 g m² RG, 193 m² NV y 3667 m² NG. Los valores más bajos fueron de la asociación ayocote-maíz negro (156 g m², 157 m², 2433 m², respectivamente).

Cuadro 5. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes de ayocote (*P. coccineus* L.), en asociación con maíz. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2013.

| Tratamiento | BT g m ² | RG g m ² | IC % | NV | GV | PCG g | NG m ² |
|-------------|---------------------|---------------------|------|------|-------|-------|-------------------|
| Unicultivo | 545a | 227a | 42a | 224a | 4.2a | 49a | 4704a |
| Ay-HS2 | 514b | 202b | 39b | 206b | 3.8ab | 48a | 3914b |
| Ay-MAZ | 498c | 184c | 37c | 193c | 3.7ab | 47a | 3667c |
| Ay-MA | 421d | 162d | 38c | 172d | 3.4bc | 45a | 2924d |
| Ay-MN | 395e | 156d | 39b | 157e | 3.1c | 44a | 2433e |
| MG | 475 | 186 | 39 | 190 | 3.7 | 47 | 3528 |
| Tukey 5% | 9.0 | 11.6 | 4.5 | 4.7 | 0.6 | 7.5 | 17 |
| Prof. F:** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| <0.01 | | | | | | | |

Ay: ayocote, HS2: maíz híbrido HS2; MAZ: maíz azul, MA: maíz amarillo; MN: maíz negro; BT: Biomasa Total; RG: rendimiento de grano (g m²); IC, índice de cosecha; NV: número de vainas; GV: granos por vaina; PCG: peso de cien granos (g); NG, número de granos; MG: Media General; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P < .01; indican efecto significativo.

La reducción en el RG de ayocote cuando se siembra asociado con maíz, está en función de la habilidad competitiva del cultivar utilizado, en este caso con distintos cultivares de maíz (Escalante y Rodríguez, 2011). Por su parte, Vélez *et al.* (2007) señalan que 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 económicos, mano de obra, tierra y ambientales (agua, nutrientes y luz), en el presente estudio, el ayocote presenta una disminución en BT y RG al asociarse con los cultivares de maíz en comparación al ayocote en unicultivo. En la asociación los rendimientos del frijol se reducen en más del 40% y en el maíz entre 10 y 21%. Lo anterior coincide con lo reportado por Jana *et al.* (2000), quienes estudiaron la eficiencia de la asociación de maíz-frijol común y encontraron un RG (25 g m²) más bajo en la asociación que en unicultivo (76 g m²). El frijol, que es el componente de la asociación más afectado, la competencia reduce la altura y el tamaño del dosel, principalmente después de floración, 24 % (27 cm) a los 80 días, y 44% (109 cm) a los 160 días (Angulo, 1986),

afectando negativamente el potencial de formación de flores y de vainas (Kohashi-Shiabata, 1990), el área foliar y su distribución en el dosel de la asociación, la habilidad competitiva y los rendimientos (Escalante *et al.*, 2014).

Los valores de GV, PCG y NG de ayocote en unicultivo fueron superiores a los tratamientos en asociación (Cuadro 5), lo anterior puede atribuirse a la distribución de la precipitación en el ciclo de cultivo, la cual fue mayor durante la etapa vegetativa (59 %), por lo cual generó un déficit hídrico durante la etapa de floración, formación de vainas y llenado de grano lo cual pudo afectar el RG (Pérez *et al.*, 2013; Delgado, 2014). Asimismo, la competencia generada por la asociación ayocote-maíz por el recurso hídrico incrementa durante la etapa de floración y llenado de grano provocando que haya una disminución en el rendimiento de grano en el ayocote (Escalante *et al.*, 2015). Por su parte Vélez *et al.*, (2007) señalan que en la asociación frijol-maíz hay una disminución de materia seca, presentándose la mayor reducción durante la etapa de floración (40 %) y durante el llenado de grano de la vaina (62%) con respecto al unicultivo. Sin embargo, Pérez (2010) menciona que la duración de la formación y llenado de vainas en frijol asociado es más larga que en unicultivo, ya que el rendimiento en frijol están más relacionados con la duración del llenado de grano que con la acumulación de MS durante esa etapa.

En relación al maíz, el rendimiento de grano (RG, g m²), número de granos por m² (NG m²), número de granos por hileras (NGH), longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), peso de cien granos (PCG, g) mostraron diferencias significativas (Cuadros 6 y 7). El unicultivo de maíz mostró los valores más altos en RG, NG, NGH, LM (731 g m², 5049 m², 33, 19 cm, respectivamente); mientras en asociación, el híbrido HS-2 registro los valores más altos RG, NG, NGH, LM (681 g m², 4464 m², 31, 18 cm, respectivamente); seguido por la asociación ayocote-maíz azul (571 g m², 2940 m², 28, 17 cm); los valores

más bajos en RG y componentes fueron con la asociación de ayocote-maíz negro (421 g m², 1872 m², 26, 16 cm).

Cuadro 6. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes de cultivares de maíz en unicultivo. Montecillo México. Verano-Otoño. 2013.

| Tratamiento | BT (g m ²) | RG(g m ²) | IC% | NH | NGH | PCG (g) | NG (m ²) |
|-----------------|------------------------|-----------------------|-----|-----|------|---------|-----------------------|
| HS2 | 2645a | 731a | 28a | 17a | 33a | 34a | 5049a |
| MAZ | 2412b | 596b | 25a | 15a | 28ab | 33a | 3360b |
| MA | 2314c | 545c | 24a | 15a | 26b | 31a | 2925c |
| MN | 2185d | 514d | 23a | 14a | 25b | 30a | 2450d |
| MG | 2389 | 596 | 25 | 15 | 28 | 32 | 3446 |
| Tukey 5% | 8.0 | 10.6 | 7.8 | 4.6 | 6.0 | 6.2 | 8.0 |
| Prof. F:** | ** | ** | -- | -- | ** | -- | ** |
| <0.01 | | | | | | | |

HS2: maíz híbrido HS2; MAZ: maíz azul, MA: maíz amarillo; MN: maíz negro; BT: Biomasa Total; RG: rendimiento de grano (g m²); IC: índice de cosecha; NH:Número de hileras; NG, número de granos por hilera; PCG: Peso de cien granos; NG: Número de granos (m²); MG: Media general; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P <0.01; indican efecto significativo.

Los valores de NH y NG en unicultivo fueron mayores (10% y 16%, respectivamente) a los tratamientos en asociación, con respecto al PCG y NGH no fueron afectadas por la asociación con ayocote. Lo anterior se puede atribuir a la competencia por recursos (nutrimentos, agua y luz) durante la etapa vegetativa, en la asociación con ayocote la acumulación de materia seca disminuye durante el llenado de grano (Díaz *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2013). Vélez *et al.*, (2007), reportan que la duración de formación de grano en maíz tiende a ser menor con respecto al unicultivo, sin embargo, durante la etapa de llenado de grano la translocación de fitoasimilados tiene mayor duración, pues coincide con la etapa de madurez fisiológica del frijol, y ya no hay competencia del frijol hacia el maíz. Por su parte Vélez *et al.*, (2011), Delgado *et al.* (2014), Albino *et al.* ,(2015) y Ebel *et al.*, (2017) señalan que la competencia por el agua en la asociación maíz-frijol es más durante la floración del frijol, pues el maíz acumula la mayor cantidad de materia seca para entrar a la etapa de floración del maíz, asimismo, el estrés hídrico durante la etapa reproductiva influye en el abatimiento en el NG y NH.

Cuadro 7. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes de maíz en asociación con ayocote. Montecillo México. Verano-Otoño. 2013.

| Tratamiento | BT (g m ²) | RG (g m ²) | IC% | NH | NGH | PCG (g) | NG (m ²) |
|-------------|------------------------|------------------------|-----|------|-----------------|---------|-----------------------|
| HS2 | 2562a | 681a | 27a | 16a | 31 ^a | 34a | 4464a |
| MAZ | 2321b | 571b | 24a | 14ab | 28 ^a | 32a | 2940b |
| MA | 2293c | 498c | 22a | 13ab | 27 ^a | 32a | 2457c |
| MN | 1897d | 421d | 22a | 12b | 26 ^a | 31a | 1872d |
| MG | 2268 | 543 | 23 | 14 | 28 | 32 | 2933 |
| Tukey 5% | 12 | 13 | 6.0 | 3.4 | 5.2 | 5.2 | 9.4 |
| Prof. F:** | ** | ** | -- | ** | -- | -- | ** |
| <0.01 | | | | | | | |

HS2: maíz híbrido HS2; MAZ: maíz azul, MA: maíz amarillo; MN: maíz negros; BT: Biomasa Total; RG: rendimiento de grano (g m²); IC: índice de cosecha; NH: Número de hileras; NG, número de granos por hilera; PCG: Peso de cien granos; NG: Número de granos (m²); MG: Media general; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P <0.01; indican efecto significativo.

Lo anterior se puede atribuir a que el rendimiento del maíz híbrido HS-2 fue más alto, porque dicho cultivar presentó un mayor dosel vegetal el cual capta más radiación solar, la cual es convertida en biomasa, y distribuida a la estructura de interés económico. Además, su dosel está integrado por hojas con hábito erectófilo y separación vertical entre ellas, lo que le otorga un bajo coeficiente de extinción lumínica que posibilita una penetración y distribución más uniforme de la luz en el perfil del dosel (Maddoni y Otegui, 1996). Ello le confiere ventajas en la producción de biomasa comparándolos con los cultivares criollos los cuales tienen hojas menos erectas produciendo una mayor área de sombreado entre las plantas impidiendo la captación de radiación solar, dando como resultado una menor producción de biomasa que se puede ver reflejado en el rendimiento de grano (Sánchez, 2014).

Biomasa total e Índice de cosecha

La biomasa total (BT) e índice de cosecha (IC) mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. El ayocote en unicultivo registró los valores más altos en BT e IC (545 g m², 42%), seguido por ayocote asociado con el híbrido HS2 (514 g m², 39%), y la asociación ayocote-maíz azul con (498 g m², 37%); los valores más bajos fueron

en la asociación ayocote-maíz negro (395 g m^{-2} , 39%) (Cuadro 5). Los resultados obtenidos se pueden atribuir al efecto de competencia del tutor por espacio, agua, luz y nutrimentos lo cual limita el crecimiento del ayocote (Herrera *et al.* 2001; Sarandón y Chamorro, 2003; Apaez *et al.* 2013). Por su parte, Escalante *et al.*, (2015) mencionan que el dosel del maíz cubren a las plantas de ayocote, ocasionando que recibieran menor radiación solar, disminuyendo la producción de materia seca y en consecuencia una reducción en el RG. Debido a la competencia interespecifica, el frijol es el más afectado bajo este esquema de producción con una reducción de 25 a 50% en relación al monocultivo (Francis, 1989; Morales *et al.* (2006); Díaz *et al.* (2010). Se supone que bajo condiciones no limitantes de agua y nutrimentos, la reducción en el rendimiento del frijol se debe al sombreado ocasionado por el maíz, que puede limitar la mayor expresión del número de granos y consecuentemente del rendimiento (Escalante *et al.*, 2014; Fageria *et al.*, 2010). Vélez *et al.* (2007) señalan que la tasa de acumulación de materia seca (MS) del frijol común (*Phaseolus vulgaris*) en asociación con maíz, disminuye 57 % con respecto a la espaldera convencional. Por otra parte, Pinheiro y Filho (2000), al estudiar la respuesta fisiológica del frijol chino en espaldera de maíz encontraron una disminución del 45 % en la tasa de acumulación de materia seca ($1.8 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) con respecto al testigo ($3.9 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$). Los resultados mostraron un efecto similar de la competencia por luz y por recursos del suelo y pueden indicar que ambos efectos sean de igual importancia (Vélez *et al.*, 2007).

Para los cultivares de maíz, la BT e IC mostraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. El híbrido HS-2 en unicultivo registró los valores más altos en BT e IC (2645 g m^{-2} , 28 %, respectivamente), y el maíz negro tuvo los valores más bajos (2185 g m^{-2} , 23 %, respectivamente), (Cuadro 6). En cuanto a la asociación los resultados fueron similares, el híbrido HS-2 asociado con ayocote tuvo los más altos de BT e IC (2564 g m^{-2} ,

27 %, respectivamente), seguido por el maíz azul (2321 g m², 24 %, respectivamente), la asociación maíz negro-ayocote tuvieron los valores más bajos de BT e IC (1897 g m², IC 22 %, respectivamente) (Cuadro 7). Los resultados obtenidos se pueden atribuir a la distribución de la materia seca de los cultivares de maíz hacia el órgano de importancia económica (el grano o semilla), siendo el híbrido HS2 con valores más altos por el tipo de hoja erectofila que le permite captar más cantidad de radiación solar en sus distintos estratos haciendo más eficiente la generación de biomasa; mientras que los cvs criollos al presentar hojas más horizontales, estas llegan a producir un autosombreado en los estratos medio y bajo de las plantas, reduciendo la captación de radiación solar, lo cual se ve reflejado en la producción de biomasa (Galdámez *et al.*, 2010; Sánchez, 2014). Por su parte Escalante *et al.* (2015), evaluaron la acumulación y distribución de MS en órganos de las plantas en cultivares de maíz en asociación con cultivares de frijol trepador, reportaron que hay diferencias entre los cultivares de maíz en la acumulación y distribución de MS y en consecuencia en la MS total, pero no en el rendimiento en grano; mientras que en los cultivares de frijol asociados no ocasionaron cambios en dicha variable.

Eficiencia en el uso del agua

La Eficiencia en el uso del agua (EUA) mostró diferencias significativas entre tratamientos. Así, el ayocote en unicultivo presentó la mayor EUA (0.60 g m⁻² mm⁻¹), seguido por la asociación con maíz HS2 (0.52 g m⁻² mm⁻¹), el tratamiento con los valores más bajos fue el ayocote asociado con maíz negro (0.39 g m⁻² mm⁻¹) (Cuadro 8). Lo anterior puede atribuirse a la competencia por los insumos (en este caso la eficiencia en el uso del agua) por las especies en asociación (Díaz-López *et al.*, 2010). El cultivo de ayocote fue afectado por dicha asociación, pues los valores de EUA son considerados bajos, lo cual indica que

dicho cultivo requiere de mayor área de terreno para incrementar la eficiencia en el uso de los insumos para la producción de biomasa. Lo anterior concuerda con lo reportado por Escalante-Estrada (1995) y Olalde-Gutiérrez *et al.* (2000), quienes señalan que una mayor EUA está relacionada con la producción de una temprana cobertura del dosel vegetal generada por el cultivo combinado generando disminución en la evaporación del agua del suelo.

Cuadro 8. Eficiencia en el uso del agua (EUA) del cultivo de ayocote (*Phaseolus coccineus* L) en unicultivo y en asociación con cultivares de maíz. Verano de 2013.

| Cultivo | BT (g m ⁻²) | RG (g m ⁻²) | ETc (mm d ⁻¹) | EUA (g m ⁻² mm ⁻¹) |
|---------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---|
| Ay-Unicultivo | 545 | 227 | 374a | 0.60a |
| Ay-HS2 | 514 | 202 | 385b | 0.52b |
| Ay-MAZ | 498 | 184 | 389bc | 0.46c |
| Ay-MA | 421 | 162 | 392c | 0.41d |
| Ay-MN | 395 | 156 | 397d | 0.39d |
| MG | 475 | 186 | 387 | 0.47 |
| Tukey 5% | 9.0 | 11.6 | 4.5 | 0.023 |
| Prof. F:** | ** | ** | ** | ** |
| <0.01 | | | | |

Ay: ayocote, HS2: maíz híbrido HS2; MAZ: maíz azul, MA: maíz amarillo; MN: maíz negro; BT: Biomasa Total; RG: rendimiento de grano (g m⁻²); ETc: evapotranspiración; EUA: eficiente uso del agua; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas (Tukey $\alpha=0.05$), ** P <.01; indican efecto significativo

Para el cultivo de maíz la EUA entre tratamientos mostro diferencias significativas entre tratamientos, los tratamientos en unicultivo superaron a los cultivos en asociación (Cuadro 9). Los valores más altos en unicultivo fueron con HS2 (2.28 g m⁻² mm⁻¹) y el valor más bajo fue con maíz negro (1.50 g m⁻² mm⁻¹), para los tratamientos en asociación los resultados mostraron tendencias similares al unicultivo, los valores más altos los registro la asociación ayocote-HS2 (2.05 g m⁻² mm⁻¹) y los valores más bajos fue con ayocote-maíz negro (1.20 g m⁻² mm⁻¹) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Eficiencia en el uso del agua (EUA) del cultivo de maíz en unicultivo y en asociación con ayocote (*Phaseolus coccineus* L.). Verano de 2013.

| Tratamiento | Cultivo | BT (g m ⁻²) | RG (g m ⁻²) | ETc (mm d ⁻¹) | EUA (g m ⁻² mm ⁻¹) |
|-------------------|------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|---|
| Unicultivo | HS2 | 2645 | 731 | 321a | 2.28a |
| | MAZ | 2412 | 596 | 337b | 1.77b |
| | MA | 2314 | 545 | 341bc | 1.60c |
| | MN | 2183 | 514 | 343c | 1.50d |
| | MG | 2362 | 596 | 335 | 1.80 |
| | Tukey 5% | 8.0 | 10.6 | 4.2 | 0.05 |
| | Prof. F:** | ** | ** | ** | ** |
| | <0.01 | | | | |
| Asociado | HS2 | 2562 | 681 | 332a | 2.05a |
| | MAZ | 2321 | 571 | 340b | 1.68b |
| | MA | 2293 | 498 | 344b | 1.44c |
| | MN | 1897 | 421 | 349c | 1.20d |
| | MG | 2562 | 681 | 341 | 1.60 |
| | Tukey 5% | 12 | 13 | 4.1 | 0.06 |
| | Prof. F:** | ** | ** | ** | ** |
| | <0.01 | | | | |

Ay: ayocote, HS2: maíz híbrido HS2; MAZ: maíz azul, MA: maíz amarillo; MN: maíz negros; BT: Biomasa Total; RG: rendimiento de grano (g m²); ETc: evapotranspiración; EUA: eficiente uso del agua; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P <.01; indican efecto significativo

Los resultados obtenidos pueden atribuirse por las características fisiológicas del maíz, el cual presenta un metabolismo C4 y un bajo contenido energético de su biomasa reproductiva, el maíz es más eficiente que el ayocote, esto porque el maíz desarrolla y mantiene su cobertura de dosel hasta la madurez fisiológica (Andrade y Gardiol, 1994; Tollenaar y Bruulsema (1988). Por su parte, Sánchez (2014) señala que los cultivares criollos presentan un ciclo de cultivo más largo, por lo tanto el consumo de agua es mayor en comparación del cultivar híbrido. Lo anterior coincide con Caviglia *et al.*, (2004) y Apáez *et al.* (2013) que el desarrollo del dosel del cultivo del maíz durante las primeras etapas de crecimiento teniendo mayor cobertura en el suelo, provocando una reducción de la evaporación y en consecuencia incrementa la eficiencia en el uso del agua por parte del dosel.

CONCLUSIONES

La fenología, evapotranspiración, unidades calor del cultivo de ayocote no presentaron cambios en la siembra en unicultivo y asociado con maíz. La producción de biomasa, rendimiento de grano y sus componentes, eficiencia en el uso del agua del ayocote fue mayor en unicultivo que asociado con maíz. La asociación con maíz híbrido HS2 supera a la siembra con cultivares de maíces criollos. Los componentes de rendimiento, producción de biomasa del ayocote presentan cambios en relación al tipo de cultivar de maíz.

LITERATURA CITADA

- Albino, G. R., A. Turrent F., I. Cortés F., M. Livera M., M. C. Mendoza C. 2015. *Agrociencia* 49:513-531.
- Andrade, F.H.; Gardiol J.M. (1994). Sequía y producción de los cultivos de maíz, girasol y soja. *Boletín técnico* 132. EEA INTA Balcarce.
- Angulo, N. (1986). Comportamiento agronómico de selecciones avanzadas de frijol voluble con maíces en asocio y en unicultivo. Tesis de Maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 89 p.
- Apáez B. P., Escalante-Estrada J.A.S., Rodríguez-Gutiérrez M.T. (2013). Producción de vaina verde en frijol chino y tipo de espaldera en clima cálido. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19(1): 129-140.
- Ayala-Garay O. J., Pichardo-González J.M., Estrada-Gómez J. A., Carrillo-Salazar J. A., Hernández-Livera A. (2006). Rendimiento y calidad de semilla de frijol ayocote en el Valle de México. *Agric. Téc. Méx.* 32:313-321.
- Basurto P. F., Martínez C., Castellanos V., Martínez M. A. (1996). Ciclo agrícola y fenología de *Phaseolus coccineus* L. en sistemas de agricultura tradicional en la Sierra Norte de Puebla, México. *Etnoecológica* 3:71-81.
- Barrios-Gómez E. J., López-Castañeda C., Kohashi-Shibata J., Acosta-Gallegos J. A., Miranda-Colín S., Mayek-Pérez N. (2010). Rendimiento de semilla, y sus componentes en frijol flor de mayo en el Centro de México. *Agrociencia* 44: 481-489.
- Barrios-Gómez E. J., López-Castañeda C.; Acosta-Gallegos J. A.; Miranda-Colín S.; Canul-Ku J. (2011). Efecto del estrés hídrico en el crecimiento y desarrollo de frijol. *Investigación Agropecuaria*. 8(1). 1-15.
- Caviglia O.P., Sadras V.O, Andrade F.H. (2004). In tensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat-soybean. *Field Crops Res.* 87:117-129.
- Castillo M. M. R., Ramírez V. P., Castillo G. F. y Miranda C. S. (2006) Diversidad morfológica de poblaciones nativas de frijol común y frijol ayocote del oriente del estado de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29 (2): 111 – 119.
- Cruz Sánchez F. (2014). Analisis de la colección INIFAP del frijol ayocote (*Phaseoulus coccineus* L.) fenología de la planta. Tesis de Licenciatura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma de Chapingo. p. 3-20
- Delgado M.R., Escalante-Estrada J.A.S., Díaz R., Trinidad S. A., Morales E. J. y Sosa M.E. (2014). Defoliación en maíz y su efecto sobre el rendimiento de frijol-maíz en asociación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 5 (6) 1015-1027

Díaz C., Rivera J., Quiroz J. (1995). Crecimiento y desarrollo del maíz y frijol trepador en monocultivo y asociación. *Actulidades Corpoica Medellin, Regional*. 4(9):5-10.

Díaz-López E.; Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T.; Gaytán A. (2010). Producción de frijol ejotero en función del tipo de espaldera. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 16: 215-221.

Doorenbos J.; Pruitt O. W. (1986) L necesidades de agua por los cultivos. Estudio FAO. Riego y Drenaje. Manual 24, ed. FAO, Roma. 194 p.

Ebel, E., J.G. Pozas C., F. Soria M., J. Cruz G. 2017. Manejo orgánico de la milpa: rendimiento de maíz, frijol y calabaza en monocultivo y policultivo. *Terra Latinoamericana*. 35 (2) 149-160.

Escalante, E. J. A. S. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. *Agroproductividad*, 1: 28-32.

Escalante-Estrada, J. A. S. 2001. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y nitrógeno en girasol de humedad residual. *Terra* 19: 19-27.

Escalante-Estrada J.A.S. y Rodríguez-González M.T. (2011). Biomasa y rendimiento de haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. *Ciencias Agrícolas Informa* 20:16-25.

Escalante-Estrada J.A.S., Rodríguez-González M.T., Escalante-Estrada Y.I. (2014). Tasa de crecimiento de biomasa y rendimiento de frijol en función del nitrógeno. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México*. 2 (1) 1-8.

Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T.; Escalante-Estrada Y.I. (2015). Acumulación y distribución de materia seca en cultivares de maíz asociados con frijol en clima templado, *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12: 139-143

Escalante-Estrada J. A. S. y Kohashi-Shibata J. (2015). El rendimiento y crecimiento del frijol. Un manual para toma de datos. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Texcoco, México. 84 p.

Fageria, N. K.; Baligar V. C.; Moreira A.; Portes T. A. (2010). Dry bean genotypes evaluation for growth, yield components and phosphorus use efficiency. *J. Plant Nutr.* 33: 2167-2181.

Ferreira, M. E.; De Varennes A.; Viera M. I. (2006). Predicting pod quality of Green beans for processing. *Science Horticulture* 109: 207-211.

Francis C. A. (1986) Distribution and importance of multiple cropping. In: C. A. Francis (Editor). *Multiple cropping systems*. Macmillan. New York. pp:1-19.

Galdámez-Galdámez J.; Aguilar-Jiménez C.E.; Gutiérrez-Martínez A.; Morales-Cabrera J.A.; Mendoza-Pérez S.; Martínez-Aguilar F. (2010). Maíz asociado con frijol, canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) y calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) en Villaflores, Chiapas. Quehacer Científico en Chiapas 2010 1(10) 18-29.

García, E. L. (2005). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a (Ed.). Universidad Autónoma de México (UNAM). D. F., México. 217 p.

Hanway, J. J. 1963. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). Agron. J. 55:487-492.

Herrera-Cabrera B.E.; Delgado-Alvarado A.; Díaz-Ruíz R.; (2001). Asociación maíz-frijol de guía bajo temporal en Cuauhtinchan, Puebla. Agricultura Técnica de México, 2: 153-161.

Jana A. C.; Krarup P.B.; Fuentes R. P. (2000). Eficiencia de la asociación maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*). Agro sur 28: 71- 80.

Kohashi S.J. (1996). Aspectos de la morfología y fisiología del frijol *Phaseolus vulgaris* L. y su relación con el rendimiento. Instituto de Recursos Naturales, Programa de Botánica. Colegio de Postgraduados. Montecillo. 42 pp.

Kohashi-Shibata J. y Martínez Villegas E. (1990), Efecto de remoción de flores en el rendimiento y sus componentes de frijol negro 150 (*Phaseolus vulgaris* L.). Agrociencia (serie fitociencia). 1: 65-76.

Maddonni G. A. y Otegui M. E. (1996). Leaf area, light interception and crop development in maize. Field Crop Res. 48:1, 87-87.

Morales R. E. J.; Escalante E. J. A.; Tijerina, C. L.; Volke, H. V. H.; 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.

Olalde-Gutiérrez V.M.; Escalante-Estrada J.A.S.; Sánchez-García P.; Tijerina-Chávez L.; Engleman-Clark E.M. y Astache-Lagunas A.A. (2000). Eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno y rendimiento del girasol, en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. Terra 18:51-59.

Pérez, L. 2010. Evaluación ecofisiológica del cultivo asociado maíz (*Zea mays* L.)- frijol voluble trepador (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis magister en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad nacional de Colombia, Medellín. 87-94.

Pérez, L. A. E., E. Martínez B., L. D. Vélez V., J.M. Cortes T. (2013). Acumulación y Distribución de fitomasa en el asocio de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 66(1): 6865-6880.

Pérez Tejeda M. A. (2011). Colección mexicana de frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.): características geográficas de sitios de colecta y fenología de la planta. Tesis de Licenciatura, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma de Chapingo. p 3-48.

Pichardo, G.J.M. 2005. Fecha de siembra, rendimiento y calidad de la semilla de *Phaseolus coccineus* L. Montecillo, México. Tesis Maestría en Ciencias en Recursos Genéticos y Productividad Producción de Semillas. Colegio de Posgraduados. P: 69.

Pinheiro, J. M. y Filho, L. (2000). Physiological response of maize and cowpea to intercropping. Pesquisa Agropecuária Brasileira 35(5): 915-921.

Rojas-Victoria N.J.; Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T. (2015). Biomass and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) in association with maize. Ann. Rep. Bean. Improv. Coop. 58,129-130.

Salinas R. N.; Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T. y Sosa E. (2008). Rendimiento y calidad nutricional de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en fechas de siembra. Rev. Fitotec. Mex. 31:235-241.

SAS Institute Inc. 2011. SAS® 9.3 Guide to Software updates. Cary, NC:SAS Institute Inc. Santalla M.; Casquero P.A.; de Ron A.M. (1999) Yield and yield components from intercropping bush bean cultivars with maize. J. Agron. Crop Sci. 183: 263-269.

Sánchez Mendoza Selene Mariana (2014). Análisis de crecimiento de genotipos de maíz de Valles Altos en competencia con maleza. Tesis de Maestría en Ciencias. Montecillo, Texcoco, Edo. De México. P1-70

Sarandón, S. J. y Chamorro M.A. (2003). “Policultivos en los sistemas de producción de granos”, en Satorre E; R. Benech Arnold; G. A. Slafer; E. De la Fuente; D. Miralles; M. E. Otegui y R. Savin (eds). *Producción de cultivos de grano. Bases funcionales para su manejo*. Facultad de Agronomía, Buenos Aires.

Snyder R.L. (1985) Hand calculating degree days. Agri. For. Meteorol. 3:353-358.

Tollenar, M. and Bruulsema T.W. (1988). Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. Agron. J. 80:580-585.

Tsubo, M. y Walker, S. (2004). Shade Effects on *Phaseolus vulgaris* L. Intercropped with *Zea mays* L. under well-watered conditions. J. Agron. Crop Sci. 190:168-176.

Vargas V. M.L.P.; Irizar G. M. B.G. (2005) Efecto del brasinoesteroide y densidad de población en la acumulación de biomasa y rendimiento de ayocote (*Phaseolus coccineus* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 11(2): 269-272.

Vélez, V. L. D.; Clavijo P.J.; Ligarreto G.D. (2007). Análisis ecofisiológico del cultivo asociado maíz (*Zea mays* L.) – frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 60(2):3965-3984.

Vélez, V. L. D., A. Moya M., L. J. Clavijo P. 2011. Relaciones de competencia entre el frijol trepador (*Phaseolus vulgaris* L.) y maíz (*Zea mays* L.) sembrados en asocio. Rev. Fac. Nal. Agro. 64 (2): 6065-6079

Villalpando, I.J. F., Ruíz, C. J. A. 1993. Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura. Colegio de Postgraduados. Cgapingo. Méx. 61p.

CAPITULO II

CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE AYOCOTE EN ASOCIACIÓN CON DIFERENTES CULTIVARES DE MAÍZ

CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE AYOCOTE EN ASOCIACIÓN CON DIFERENTES CULTIVARES DE MAÍZ

RESUMEN

En México, es común sembrar simultáneamente dos o más cultivos como frijol y maíz en el mismo terreno. El ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) de tipo trepador requiere de un tutor o espaldera para dar soporte a la planta, una alternativa viable es utilizar especies vegetales como el maíz. Por otra parte, el análisis de crecimiento es básico para comprender los procesos fisiológicos que determinan la producción vegetal. El análisis de crecimiento usa medidas directas como peso de la materia seca (MS), que depende del tamaño, actividad y duración del área foliar; tasa de asimilación neta (TAN) y tasa de crecimiento del cultivo (TCC). El objetivo del estudio fue evaluar la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN) y la producción de MS de ayocote en asociación con diferentes cultivares de maíz. El estudio se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México, durante el año de 2013. El material genético fue: ayocote (Ay) de hábito de crecimiento indeterminado con tres cultivares de maíz criollo raza chalqueño de color azul (MAZ), amarillo (MA) y negro (MN) y un maíz híbrido HS-2 (HS2); se realizaron dos tipos de siembra: a) siembra en asociación de maíz con ayocote, b) siembra de ayocote en unicultivo. La densidad de población fue de 5 plantas por m² para ambas especies. El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro repeticiones; se registró la temperatura (°C) máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}) promedio decenal, suma de la precipitación (PP). Las variables registradas fueron: número de hojas verdes por m² (NHV), área foliar (sin incluir peciolo para el ayocote) y del maíz, índice de área foliar (IAF), duración del área foliar total (DAFT), tasa media de crecimiento de cultivo (TCC) y tasa media de asimilación neta (TAN). A las variables medidas se les aplicó un análisis de

variancia y la prueba de comparación de medias de tratamientos de Tukey ($\alpha=0.05$). Las fases fenológicas en ayocote ocurrieron a los 12 (E), 69 (R6), y 127 (R9) días después de la siembra (dds), Para maíz, las fases fueron 11 (E), 72 (R1), y 145 (R6) dds. La precipitación fue de 512 mm. El ayocote en unicultivo presentó los valores más altos en NHV (271 m^2), IAF (1.01) y DAFT (36 días), así como en la TCC ($2.5 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) y la TAN ($0.089 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), la producción de BT (514 g m^2), los órganos con mayor acumulación de MS fueron el tallo (32 %), hojas (30%) y grano (28%). En asociación, los valores más altos fueron NHV (265 m^2), IAF (0.74), y DAFT (23 días), TCC ($2.3 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), TAN ($0.076 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), BT (514 g m^2), ayocote asociado con HS2, los órganos con mayor acumulación de MS fueron tallo (33 %), hojas (31%) y grano (28%). Para maíz, en unicultivo HS2 tuvo los valores más altos en NHV; AIF y DAFT (58 m^2 , 3.5 y 154 días), TCC ($31.9 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), TAN ($31.9 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y BT (2645 g m^2), los órganos con mayor acumulación de MS fueron tallo (47%), hojas (25%), grano (20%). Los tratamientos en asociación, el maíz HS2 asociado tuvo los valores más altos en NHV, IAF y DAFT (52 m^2 , 3.3 y 143 días, respectivamente), TCC ($27.4 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), TAN ($27.9 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), en BT (2562 g m^2), los órganos con mayor acumulación de MS fueron el tallo (44%), hojas (22%), grano (25%) con respecto a los tratamientos con maíces criollos.

Palabras clave: área foliar, índices de crecimiento, rendimiento de grano

GROWTH AND PRODUCTION OF AYOCOTE ASSOCIATED WITH MAIZE CULTIVARS

SUMMARY

In Mexico is common to plant two or more crops simultaneously, such as beans and maize, in the same area and crop cycle. The ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) of climber type requires a tutor to support the plant, an alternative is to use plant species such as corn. On the other hand, growth analysis is basic to better understanding of the physiological processes that determine plant production. The growth analysis uses direct measures such as weight of dry matter, which depends on the size, activity and duration of the leaf area; the net assimilation rate (NAR), the growth rate of the crop (GRC). The objective of this study was to evaluate the growing rate of the cultivate (GRC) and net assimilation rate (NAR) dry matter and the production (DM) of ayocote in association with different maize cultivars. The study was carried out at the College of Postgraduates, Montecillo, Mexico state, during the year 2013. The genetic material was: ayocote (Ay) of habit of undetermined growth with three cultivars of maize landraces, blue (MAZ), yellow (MA) and black (MN) and otherr Hybrid cultivar HS-2 (HS2); Two types of sowing were done: a) sowing corn associated with ayocote, b) sowing ayocote in uniculture; with a population density of 5 plants per m⁻². The experimental design was randomized blocks with four replicates; the maximum temperature (° C) (Tmax) and minimum (Tmin) in decennial period, sum of the precipitation (PP), were recorded. The recorded variables were the number of green leaves per m⁻² (NGL), leaf area (not including petioles for the ayocote) and maize, leaf area index (LAI), total leaf area duration (TLAD), growing rate of the cultivate (GRC) and net assimilation rate (NAR). To recorded variables were applied a variance analysis and the comparison test of Tukey treatments $\alpha= 0.05$. Phenological

phases in ayocote occurred at 12 (E), 69 (R6) and 127 (R9) days after sowing (dds). For maize, the phases were 11 (E), 72 (R1) and 145 (R6) dds. The precipitation (PP) was 512 mm. The sole ayocote had the highest values in NGL (271 m^{-2}), LAI (1.01) and TLAD (36 days), as well as in the GRC ($2.5 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) and the NAR (0.089 g m^{-2} (32%), leaves (30%), and grain (28%) were the most accumulated DM constituents. In association, the highest values were with ayocote associated with maize HS2, NGL (265 m^{-2}) LAI (0.74) and TLAD (23 days), GRC ($2.3 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$), NAR ($0.076 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), TB (514 g m^{-2}). The organs with the highest DM accumulation were stem (33%), leaves (31%) and grain (28%). For Maize, sole the hybrid HS2 had the highest values in NGL; ($31.9 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$), NAR ($31.9 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) and TB (2645 g m^{-2}), the most accumulating organs for DM were stem (47%), leaves (25%), grain (20%). HS2 had the highest NGL, LAI, and TLAD values (52 m^{-2} , 3.3 and 143 days), the GRC ($27.4 \text{ g m}^{-2} \text{ day}^{-1}$), the NAR ($27.9 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), In TB (2562 g m^{-2}), the organs with the highest DM accumulation were stem (44%), leaves (22%), grain (25%).

Key words: leaf area, growth rates, grain yield

INTRODUCCIÓN

En México, es común la práctica de sembrar simultáneamente dos o más cultivos en la misma área y ciclo de cultivo, cultivos como frijol y maíz coexisten principalmente bajo este tipo de agrosistema de asociación, aunque en menor escala y principalmente por agricultores que tienen extensiones menores de dos hectáreas (Delgado *et al.* 2014; Escalante *et al.* 2015; Rojas *et al.* 2015). Dicha asociación de cultivos ofrece mayores ventajas económicas y ambientales en comparación al sistema de monocultivo. En el sistema asociado se hace un mejor uso de los recursos (suelo, agua, luz y nutrimentos) e insumos (fertilizantes y riego). El ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa nativa de México con potencial de uso alimenticio, mediante el aprovechamiento de sus órganos (vainas, follaje y flores), que se cultiva en superficies reducidas (Vargas e Irizar 2001, Castillo *et al.* 2006). El ayocote al presentar hábito de crecimiento trepador, requieren de un tutor o espaldera para dar soporte a la planta, estas espalderas pueden ser postes de madera o de metal con mallas de plástico, o utilizar especies vegetales como el maíz (espalderas vivas) (Rojas *et al.* 2015). La asociación de ayocote con maíz es una alternativa para diversificar la producción, aunque el rendimiento del ayocote puede estar condicionado por el cultivar de maíz, así como el costo de producción es más bajo (Díaz *et al.* 1995; Díaz *et al.*, 2010; Escalante *et al.*, 2015; Delgado *et al.*, 2014, Rojas *et al.*, 2015). Por otra parte, el análisis de crecimiento es básico para comprender mejor los procesos fisiológicos que determinan la producción vegetal. El peso de materia seca (MS) es el criterio más apropiado para medir el crecimiento y magnitud del sistema de absorción de la planta, referido frecuentemente al área foliar total (Escalante-Estrada y Kohashi-Shibata, 1993). El área foliar es la medida usual del tejido fotosintético de un cultivo. El tamaño y la duración del aparato fotosintético está relacionado con el rendimiento

(Escalante-Estrada, 1999). Asimismo, el mayor crecimiento del dosel vegetal proporciona una mayor intercepción de luz, lo cual incrementa la fotosíntesis y producción de biomasa (Escalante-Estrada, 1999).

El Análisis de crecimiento, es una aproximación cuantitativa para entender el crecimiento de una planta o de una población de plantas bajo condiciones naturales o controladas (Apáez *et al.*, 2011; Aguilar *et al.*, 2015). El análisis de crecimiento ha sido usado ampliamente para el estudio de los factores que determinan el desarrollo de la planta y el rendimiento, a través del seguimiento de la acumulación de materia seca (MS) durante el tiempo; asimismo, dicho análisis es básico para comprender mejor los procesos fisiológicos que determinan la producción vegetal (Escalante-Estrada y Kohashi-Shibata, 1993). La dinámica de la acumulación de MS describe el crecimiento de las plantas así como la tasa de acumulación en cada etapa fenológica. Dicho conocimiento es de importancia para dar al cultivo el manejo agronómico oportuno y lograr una máxima producción (Escalante *et al.* 2014) puesto que los requerimientos para el crecimiento están en función de la etapa fenológica en que éste se encuentre. Con base en lo anterior, el análisis de crecimiento ha sido usado para el estudio de los factores ambientales y de manejo de cultivo que influyen en el desarrollo y rendimiento de las plantas, mediante el seguimiento de la acumulación de MS durante el ciclo del cultivo (Santos *et al.*, 2010). Por otra parte, también para comparar el rendimiento de diferentes cultivares y especies en condiciones similares de crecimiento (Woo *et al.*, 2004; Aguilar *et al.*, 2015). El análisis de crecimiento usa medidas directas como el peso de la materia seca, que depende del tamaño, actividad y duración del área foliar (Escalante *et al.*, 2014). Con esto se pueden calcular variables, como: el índice de área foliar (IAF), que representa la relación entre el área foliar y el área de suelo ocupada por el cultivo; la tasa de asimilación neta (TAN), que indica la ganancia neta de asimilados

por unidad de área foliar y tiempo; la tasa de crecimiento absoluto (TCC), considerado un índice de la productividad agrícola, mide la ganancia en peso de un cultivo por unidad de área de suelo y por unidad de tiempo. En cuanto al tiempo que las hojas del dosel persiste, se tiene la duración de área foliar (DAF) como índice que representa la producción de hojas en el periodo de crecimiento del cultivo (Escalante *et al.*, 1993; Apáez *et al.*, 2011; Escalante *et al.*, 2014; Aguilar *et al.*, 2015). Los objetivos del estudio fueron evaluar la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de asimilación neta (TAN) y producción de MS del ayocote en asociación con diferentes cultivares de maíz.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México (19° 28' 4" N, 98° 53' 42" O, a 2250 m de altitud), bajo condiciones de lluvia estacional durante el año de 2013. El clima de la región, es el menos seco de los climas áridos con lluvias de junio a septiembre, temperatura media anual mayor a los 18°C y menor a 27°C, periodo libre de heladas promedio de 170 días (con clima Cw, García, 2005), el suelo es de textura arcillo-limosa, con pH de 7.5, conductividad eléctrica de 1.48 dSm⁻¹, contenido de materia orgánica de 3.9% y N total de 0.22 %. La siembra se realizó el 24 de mayo de 2013, con frijol ayocote (Ay) de grano color violeta, Cv Tlaxcala, habito de crecimiento indeterminado trepador (Tipo IV), con tres cultivares de maíz criollo raza chalqueño de color azul (MAZ), amarillo (MA) y negro (MN) y un cultivar híbrido HS-2 (HS2); se realizaron dos tipos de siembra: a) siembra en asociación de maíz con ayocote, b) siembra de ayocote en unicultivo; colocando dos semillas de frijol ayocote y dos de maíz por mata, con un arreglo topológico (0.25 x 0.80 m) dando como resultado una densidad de población de 5 plantas por m⁻². La unidad experimental consistió de cinco surcos de 5 m de longitud con orientación este a oeste, los 3 surcos centrales se utilizaron como parcela útil. El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro repeticiones; durante el desarrollo del cultivo se registró la temperatura (°C) máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}), promedio decenal, la suma de la precipitación (PP); además los días a ocurrencia de las fases fenológicas como: emergencia (E), floración (R6) y madurez fisiológica (R9) para ayocote, bajo los criterios presentados por Escalante y Kohashi (1993), mientras que para maíz, los días a: emergencia (E), floración (R1) y madurez fisiológica (R6) según Hanway (1963). Durante el ciclo de cultivo, se hicieron muestreos destructivos de dos plantas dentro de la parcela útil de cada tratamiento a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra (dds), a

las cuales se contó el número de hojas verdes por m² (NHV), y con el software libre ImageJ (Versión 1.45, (2013), (Rasband, 2007; Rincón *et al.*, 2012; Thomas *et al.*, 2013) se midió el área foliar (sin incluir peciolo) para el ayocote y del maíz, Índice de Área Foliar (IAF), la duración del área foliar total (DAFT) a partir de las siguientes relaciones: $IAF = (AF/NP) * DP / 10000 \text{ dm}^2$, donde AF = área foliar (dm²), NP=número de plantas muestreadas y DP= número de plantas por m². Para la Duración de área foliar total $DAFT = \sum (AIF_1 + IAF_2) (T_2 - T_1) / 2$, donde: DAFT= duración del área foliar total, Σ = suma de la duración del área foliar de cada uno de los muestreos realizados, IAF₁= índice de área foliar en un tiempo del área foliar inicial (T₁, en días), IAF₂ = índice de área foliar en un tiempo final (T₂, en días). También se calculó la Tasa media de crecimiento de cultivo (TCC) y la tasa media de asimilación neta (TAN), mediante las ecuaciones siguientes: $TCA = [(PS_2 - PS_1) / (T_2 - T_1)]$, donde PS₂ y PS₁ representan el peso seco de la planta en los tiempos T₂ y T₁, respectivamente. $TAN = [(PS_2 - PS_1) / (AF_2 - AF_1)] / [\ln AF_2 - \ln AF_1] / (T_2 - T_1)$, donde: PS₁ Y PS₂ representan el peso de la materia seca del cultivo, ln AF₂ y lnAF₁ al logaritmo natural del área foliar en el tiempo T₂ y T₁, respectivamente (Escalante y Kohashi, 1993). A la cosecha de ayocote se evaluó el rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m⁻²), biomasa (MS total; g m⁻², BT); índice de cosecha (IC) con la relación IC= RG/BT. En maíz se evaluó el rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m⁻²); biomasa (MS total; g m⁻², BT), índice de cosecha (IC) con la relación IC=RG/BT. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. A las variables de rendimiento, crecimiento y distribución de biomasa se les aplicó un análisis de variancia y la prueba de comparación de medias de tratamientos de Tukey $\alpha=0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSION

Fenología y elementos del clima

Los días de la ocurrencia de las fases fenológicas fueron similares entre los tratamientos. En ayocote las fases de E, R6 y R9 ocurrieron a los 12, 69 y 127 días después de la siembra (dds), respectivamente. Para maíz, las fases de E, R1 y R6 ocurrieron a los 11, 72 y 145 dds. La precipitación (PP) estacional durante el desarrollo del cultivo fue de 412 mm, de la cual el 59 % ocurrió en la etapa vegetativa y el 41 % en la etapa reproductiva (Figura 1). Un comportamiento similar fue reportado por Salinas *et al.* (2008), Apáez *et al.* (2013) quienes trabajaron con frijol trepador en asociación con maíz y girasol en la región de Texcoco, México. Para ambos cultivos, la temperatura máxima y mínima durante la etapa vegetativa fue de 35 °C y 7°C, en la etapa reproductiva la temperatura máxima y mínima fue de 25°C y 5°C, respectivamente. Lo anterior coincide con lo reportado por Delgado *et al.* (2014) para la región de Texcoco, México.

Barrios-Gómez *et al.* (2010) reportan un intervalo de 25°C a 28°C para el desarrollo de distintos cultivares de *Phaseolus sp* entre ellos *P. coccineus*. Por su parte, Ritchie y NeSmith (1991) señalan que la temperatura entre los 25 a 28 °C favorece el desarrollo de un mayor dosel vegetal.

La precipitación para ambos cultivos durante las primeras etapas fenológicas aportó para desarrollar el dosel vegetal; sin embargo, en la etapa reproductiva presentó un periodo de déficit hídrico, esto debido a temperaturas altas y la escasa precipitación, lo cual pudo afectar el llenado de grano y en consecuencia afectar el rendimiento de ambos cultivos en asociación (Escalante *et al.* 2001, Barrios-Gómez *et al.*, 2011).

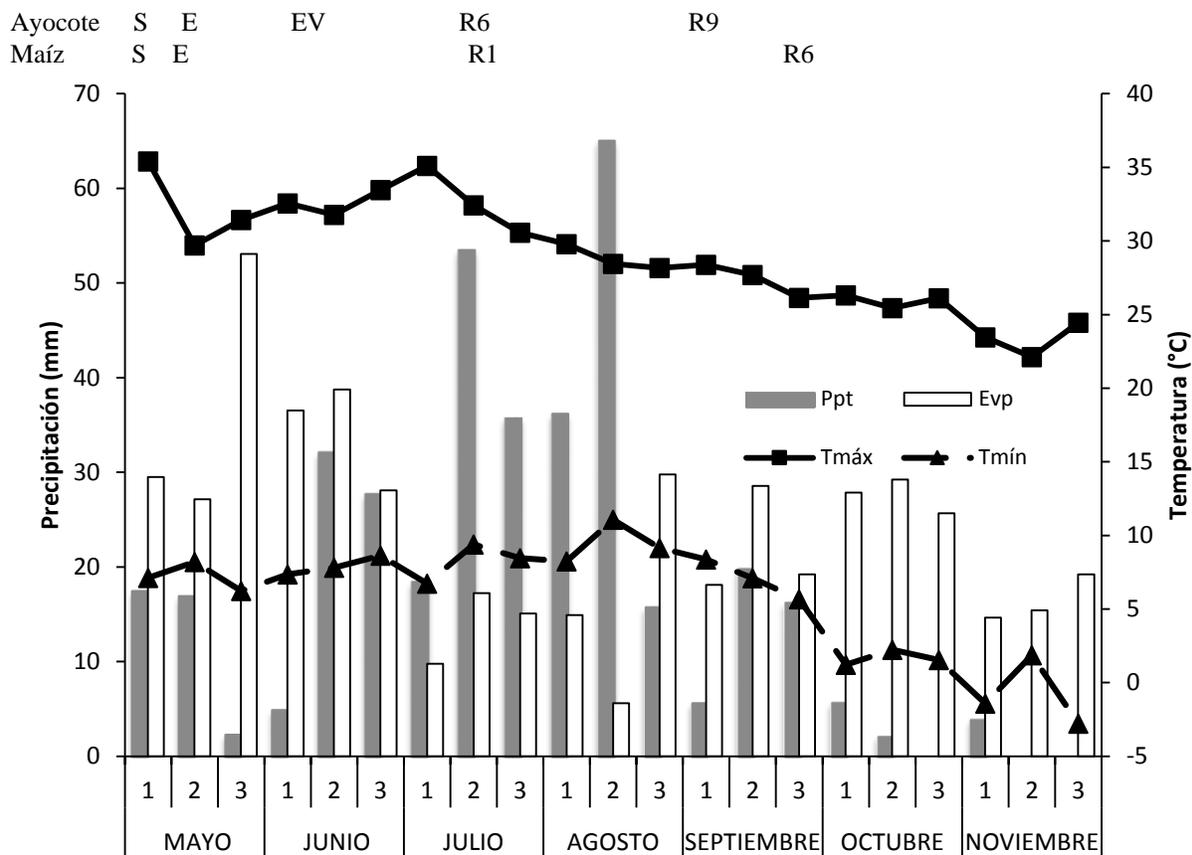


Figura 1. Distribución de la temperatura máxima (Tmáx) y mínima (Tmín) (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de los cultivos de maíz y ayocote. Montecillo, Méx. Verano 2013. Para ayocote E=Emergencia, Ev=Etapa vegetativa, R6= Floración y R9 = Madurez fisiológica; para maíz R1=floración y R6=madurez fisiológica. Ppt=precipitación, Evp=evaporación.

Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano

Durante el ciclo de ambos cultivos, se encontraron cambios significativos por el efecto de la asociación en BT, IC y RG, el ayocote en unicultivo presentó los valores más altos (545 g m⁻²) seguido por la asociación ayocote con maíz híbrido HS-2 (514 g m⁻²) (Cuadro 1); los valores más bajos fueron con la asociación ayocote-maíz negro (395 g m⁻²).

Cuadro 1. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano de ayocote (*P. coccineus* L.), en asociación con maíz. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2013.

| Tratamiento | BT g m ⁻² | RG g m ⁻² | IC % |
|-------------|----------------------|----------------------|------|
| Unicultivo | 545a | 227a | 42a |
| Ay-HS2 | 514b | 202b | 39b |
| Ay-MAZ | 498c | 184c | 37c |
| Ay-MA | 421d | 162d | 38c |
| Ay-MN | 395e | 156d | 39b |
| MG | 475 | 186 | 39 |
| Tukey 5% | 9.0 | 11.6 | 4.5 |
| Prof. F:** | ** | ** | ** |
| <0.01 | | | |

Ay: ayocote, HS2: maíz híbrido HS2; MAZ: maíz azul, MA: maíz amarillo; MN: maíz negro; BT: Biomasa Total; RG: rendimiento de grano (g m²); IC, índice de cosecha; NV: número de vainas; MG: Media General; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P <.01; indican efecto significativo.

Los efectos de la asociación en la etapa vegetativa del ayocote; coinciden con Bildirici *et al.* (2009) quienes evaluaron los potenciales de cultivos asociados con ayocote en extensiones reducidas, mencionan que la asociación con maíz puede influir en el desarrollo del ayocote desde las etapas iniciales del crecimiento y se ve reflejado en el tamaño del dosel y la producción de biomasa, lo cual concuerda con Escalante *et al.* (2014). El IC y RG mostraron diferencias entre tratamientos, el unicultivo tuvo mayor IC y RG (42% y 227 g m²) que los tratamientos en asociación.

Los resultados para maíz fueron similares a los del ayocote, mostraron cambios significativos por el efecto de la asociación en la BT y RG. HS-2 en unicultivo mostró los valores más altos (2645 g m⁻² y 731 m⁻²) respectivamente, seguido por la asociación de ayocote con maíz HS-2 (2562 g m⁻² y 681 g m⁻²) (Cuadro2).

Cuadro 2. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes de cultivos de maíz en unicultivo y asociado. Montecillo México. Verano-Otoño. 2013.

| Tratamiento Unicultivo | BT (g m²) | RG (g m²) | IC% |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|
| HS2 | 2645a | 731a | 28a |
| MAZ | 2412b | 596b | 25a |
| MA | 2314c | 545c | 24a |
| MN | 2185d | 514d | 23a |
| MG | 2389 | 596 | 25 |
| Tukey 5% | 8.0 | 10.6 | 7.8 |
| Prof. F:** | ** | ** | -- |
| <0.01 | | | |
| Tratamiento asociado | BT (g m²) | RG (g m²) | IC% |
| HS2 | 2562a | 681a | 27a |
| MAZ | 2321b | 571b | 24a |
| MA | 2293c | 498c | 22a |
| MN | 1897d | 421d | 22a |
| MG | 2268 | 543 | 23 |
| Tukey 5% | 12 | 13 | 6.0 |
| Prof. F:** | ** | ** | -- |
| <0.01 | | | |

HS2: maíz híbrido HS2; MAZ: maíz azul, MA: maíz amarillo; MN: maíz negro; BT: Biomasa Total; RG: rendimiento de grano (g m²); IC, índice de cosecha; MG: Media General; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P < .01; indican efecto significativo.

Estos resultados indican que la competencia del maíz con el ayocote deriva en menor distribución de materia seca hacia el grano de maíz (Vélez *et al.*, 2007; Morales *et al.*, 2006). El IC se ve afectado por dicha competencia, lo que coincide con Apáez *et al.* (2011) señalan que la baja exportación de fotoasimilados hacia el grano durante el llenado de grano.

Crecimiento de Cultivo

Número de Hojas Verdes, índice y duración del área foliar

Para el cultivo de ayocote, el número de hojas verdes (NHV), índice de área foliar (IAF) y duración foliar total (DAFT) mostraron diferencias estadísticas entre tratamientos. El NHV, IAF y DAFT en los tratamientos de ayocote se incrementaron a partir de la emergencia del cultivo hasta alcanzar valores máximos a los 90 dds. El ayocote en unicultivo registró los

valores más altos en NHV (271 m²), el valor más bajo fue con ayocote asociado con maíz negro (249 m²). El ayocote asociado con maíz híbrido HS2 presentó los valores más altos en NHV (265 m²) (Cuadro 3). El IAF y DAFT presentaron una tendencia similar a la NHV, en este sentido, los valores más altos del IAF y DAFT fueron a los 90 dds con ayocote en unicultivo (1.01 y 36 días, respectivamente), que fue superior a los valores de los tratamientos en asociación. La asociación ayocote-maíz HS2 mostró los valores más altos de los tratamientos en asociación con un IAF y DAFT (0.74 y 23 días, respectivamente) (Cuadro 3).

Cuadro 3. Número de hojas verdes (NHV m²), índice de área foliar (IAF) y duración de área foliar total (DAFT) de ayocote (*P. coccineus* L.) en unicultivo y en asociación con maíz. Montecillo Estado de Méx., México. Verano-Otoño 2013.

| Tratamiento | NHV | | | | IAF | | | | DAFT (días) |
|-------------------|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| | 30 | 60 | 90 | 120 | 30 | 60 | 90 | 120 | |
| Unicultivo | 35a | 170a | 280a | 215a | 0.27a | 1.55a | 2.71a | 1.15a | 64.6a |
| Ay-MHS2 | 33a | 147b | 258b | 176b | 0.24b | 1.36b | 2.50b | 0.96b | 54.3b |
| Ay-MAZ | 33a | 122c | 240c | 169c | 0.21c | 1.16c | 2.30c | 0.80c | 45.9c |
| Ay-MA | 31a | 117c | 234c | 154cd | 0.20d | 1.04d | 2.19d | 0.69c | 40.2c |
| Ay-MG | 30a | 108c | 214d | 134d | 0.19d | 0.89d | 2.09d | 0.60d | 35.6d |
| M G | 32 | 133 | 245 | 169 | 0.22 | 1.2 | 2.3 | 0.84 | 48.1 |
| DS | 6.7 | 20 | 28 | 21 | 0.01 | 0.1 | 0.18 | 0.16 | 7.6 |
| Prob. F. | NS | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |

Ay: ayocote, HS2: maíz híbrido HS2; MAZ: maíz azul, MA: maíz amarillo; MN: maíz negro; NHV: Número de hojas verdes; IAF: Índice de área foliar; DAFT: Duración de área foliar total (días); MG: Media General; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P <0.01; indican efecto significativo.

Los resultados se pueden atribuir a que durante el ciclo del cultivo las plantas del ayocote en unicultivo desarrollaron un dosel mayor que las plantas en asociación, las plantas de ayocote en asociación al tener competencia por recursos (agua, luz y nutrientes) con el maíz desarrolló un dosel de menor tamaño al del unicultivo (Escalante *et al.*, 2001; Apáez *et al.*, 2011). Ann y Francis (1985), al evaluar diferentes cultivares de frijol de hábito de crecimiento determinado e indeterminado asociados con maíz observaron reducciones de

25 y 8 % en el número de nudos, 46 y 39 % en el número de racimos, y 53 y 44 % en el número de vainas, respectivamente, con relación a sus unicultivos. En contraste, Tsubo *et al.* (2003) no encontraron reducciones significativas en la producción de materia seca y rendimiento de semilla en cultivares de frijol de crecimiento indeterminado cuando fueron asociados con maíz, lo anterior fue debido al menor sombreado del maíz sobre estos cultivares de frijol.

Los resultados obtenidos son similares a los reportados por Morales *et al.* (2007); que evaluaron la producción de biomasa y rendimiento en tres cultivares de frijol y asociado con girasol; reportan que NHV a los 85 dds de los tres tratamientos fue de 413 a 459. Por su parte, Apáez *et al.* (2011) trabajaron con frijol ejotero en espaldera viva con maíz y girasol en clima templado, reportan que a los 100 dds el NHV, IAF y DAF de frijol en espaldera convencional fue superior a los tratamientos con espaldera viva (267, 1.0, 56 días, respectivamente). Por lo contrario, Tsubo *et al.*, (2003), con maíz y frijol asociados encontraron un IAF de 6.5 a los 90 dds, que fue superior a los unicultivos de maíz y frijol (4 y 3.2, respectivamente).

Para Maíz mostraron diferencias significativas entre tratamientos, los valores en el NHV, IAF y DAFT fueron mayores en los cultivares en unicultivo que los tratamientos asociados a los 90 dds. En unicultivo el maíz híbrido HS2 fue el que tuvo los valores más altos en NHV; IAF y DAFT con 58 m², 3.5 y 154 días, respectivamente. Por otra parte, el tratamiento ayocote asociado con el maíz híbrido HS2 mostró los valores más alto en NHV, IAF y DAFT (52 m², 3.3 y 143 días, respectivamente) en comparación a los demás tratamientos en asociación (Cuadro 4).

Cuadro 4. Número de hojas verdes (NHV m²), índice de área foliar (IAF) y duración de área foliar total (DAFT) de maíz en unicultivo y asociado con ayocote. Montecillo, Estado de México. Verano-Otoño. 2013.

| Tratamiento | NHV | | | | IAF | | | | DAFT (días) |
|-------------------|------|------|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | 30 | 60 | 90 | 120 | 30 | 60 | 90 | 120 | |
| Unicultivo | | | | | | | | | |
| HS2 | 19a | 45a | 58a | 46a | 0.31a | 2.45a | 3.56a | 3.11a | 154a |
| MAZ | 17ab | 41b | 51b | 42b | 0.29b | 1.86b | 3.3 b | 3.0 b | 147b |
| MA | 15ab | 38b | 46c | 38c | 0.29b | 1.73c | 3.19c | 2.84c | 141c |
| MN | 13b | 37b | 44c | 35c | 0.28c | 1.46d | 3.14c | 2.80c | 139d |
| MG | 16 | 40.2 | 50 | 40 | 0.3 | 1.9 | 3.3 | 2.9 | 145 |
| DS | 5.5 | 5.1 | 6.6 | 4.2 | 0.01 | 0.06 | 0.11 | 0.02 | 1.6 |
| Prob. F. | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| Asociado | | | | | | | | | |
| HS2 | 16a | 45a | 52a | 41a | 0.29a | 2.07a | 3.32a | 2.88a | 143a |
| MAZ | 14a | 41b | 46b | 36b | 0.27b | 1.96b | 3.03b | 2.7b | 134b |
| MA | 13a | 39b | 40bc | 33b | 0.26b | 1.68c | 2.96c | 2.43c | 121c |
| MN | 12a | 37b | 36c | 31b | 0.26b | 1.41d | 2.95c | 2.42c | 121c |
| MG | 14 | 40 | 43 | 35 | 0.27 | 1.7 | 3.0 | 2.6 | 129 |
| DS | 4.7 | 7 | 6.4 | 7.5 | 0.03 | 0.06 | 0.07 | 0.04 | 2.6 |
| Prob. F. | NS | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |

Ay: ayocote, HS2: maíz híbrido HS2; MAZ: maíz azul, MA: maíz amarillo; MN: maíz negros; NHV: Número de hojas verdes; IAF: Índice de área foliar; DAFT: Duración de área foliar total (días); MG: Media General; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P <0.01; indican efecto significativo.

En la asociación ayocote con el maíz híbrido desarrolló mayor dosel que con los maíces criollos, lo anterior se puede atribuir a que el dosel del maíz híbrido captó mayor radiación solar la cual se puede ver reflejada en el incremento de la producción de BT (Montemayor *et al.*, 2006; Galdámez *et al.*, 2010; Rincón *et al.*, 2007). Tsubo y Walker, 2004, muestran como el sombreado disminuyó el crecimiento del frijón, la distribución de los fotoasimilados hacía las vainas (40% menos), los rendimientos y la radiación interceptada aunque la eficiencia en su uso fue mayor. Estos autores, encontraron que las hojas de frijón y maíz en el tercio inferior del dosel en cultivo asociado utilizaron aproximadamente 60 y 20%, respectivamente, de la radiación fotosintéticamente activa y concluyen que el factor agronómico más importante para disminuir la reducción en la biomasa y el rendimiento de

grano en la asociación es la época de siembra y la distribución espacial de las plantas de ambas especies, de tal manera que retrase el inicio de competencia por luz. Esto coincide con los resultados obtenidos por Tsubo y Walker, (2004), que muestran como el sombreado del maíz disminuyó el crecimiento del fríjol, la distribución de los fotoasimilados hacía las vainas (40% menos), el rendimiento y la radiación interceptada, aunque la eficiencia en su uso fue mayor. Estos autores, encontraron que las hojas de fríjol y maíz en el tercio inferior del dosel del cultivo asociado utilizaron aproximadamente 60 y 20% de la radiación fotosintéticamente activa, respectivamente, y concluyen que el factor agronómico más importante para incrementar la biomasa y rendimiento en la asociación es la época de siembra y la distribución espacial de las plantas de ambas especies, de tal manera, que retrase el inicio de competencia por luz.

Análisis de crecimiento

Tasa media de asimilación neta (TAN)

La dinámica de la TAN para los tratamientos de ayocote en unicultivo como asociado presentaron las tasas más altas a los 30 a los 60 dds, y tendieron a disminuir conforme avanzó el ciclo de desarrollo del cultivo, hasta llegar a madurez fisiológica donde se registraron los valores más bajos a los 120 dds.

Para ayocote en unicultivo a los 29 dds mostró una TAN de $0.089 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, seguido de la asociación de ayocote con maíz HS2 con $0.076 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, la tasa más baja fue con ayocote asociado con maíz negro ($0.061 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (Figura 2). El modelo que mejor se ajustó a los valores de la TAN por tratamiento fue el de polinomio de segundo grado, el cual indica que por día la TAN aumenta en $0.0016 \text{ g d m}^{-2}$ para el unicultivo y $0.0014 \text{ g d m}^{-2}$ para ayocote asociado con HS2.

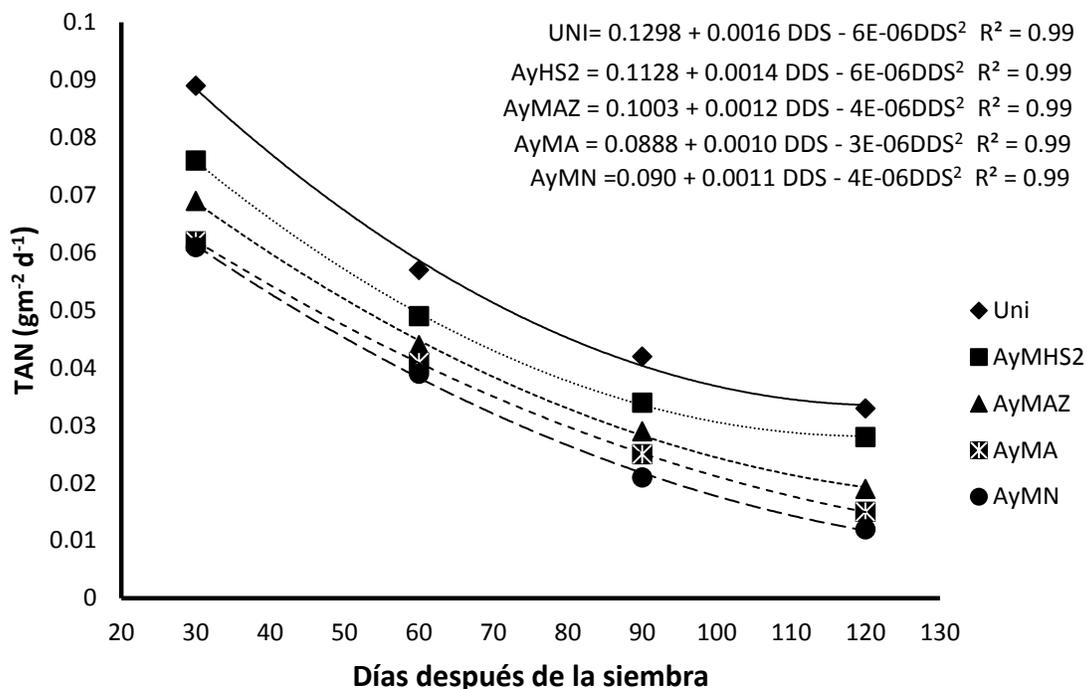


Figura 2. Dinámica de la tasa de asimilación neta (TAN) de ayocote (*P. coccineus* L.) en unicultivo y en asociación con maíz. Montecillo, Estado de Méx., México. Verano-Otoño 2013.

La disminución del TAN a través del ciclo de cultivo se puede atribuir a que el cultivo de ayocote incremento su dosel en las primeras fases de crecimiento y desarrollo de las hojas, el cual fue disminuyendo hasta llegar a la etapa reproductiva y llenado de grano, coincidiendo con el inicio de la senescencia de las hojas (Hernández *et al.*, 2012; Escalante *et al.*, 2015). Por otra parte, Apérez *et al.* (2011) trabajaron con frijol chino asociado con maíz y girasol, señalan que la disminución en la TAN en el frijol puede atribuirse al sombreado generado por el maíz y girasol, debido al mayor tamaño de dosel vegetal al transcurrir el ciclo del cultivo.

Para los tratamientos de maíz en unicultivo y asociado tuvieron tendencias similares en la TAN. A los 30 dds en unicultivo los valores más altos correspondieron al híbrido HS2 (31.9 g m⁻²d⁻¹) (Figura 3). De acuerdo con el modelo de regresión cuadrático mostró que por día la TAN aumenta en 0.439 g d m⁻² para HS2 y 0.379 g d m⁻² para maíz azul.

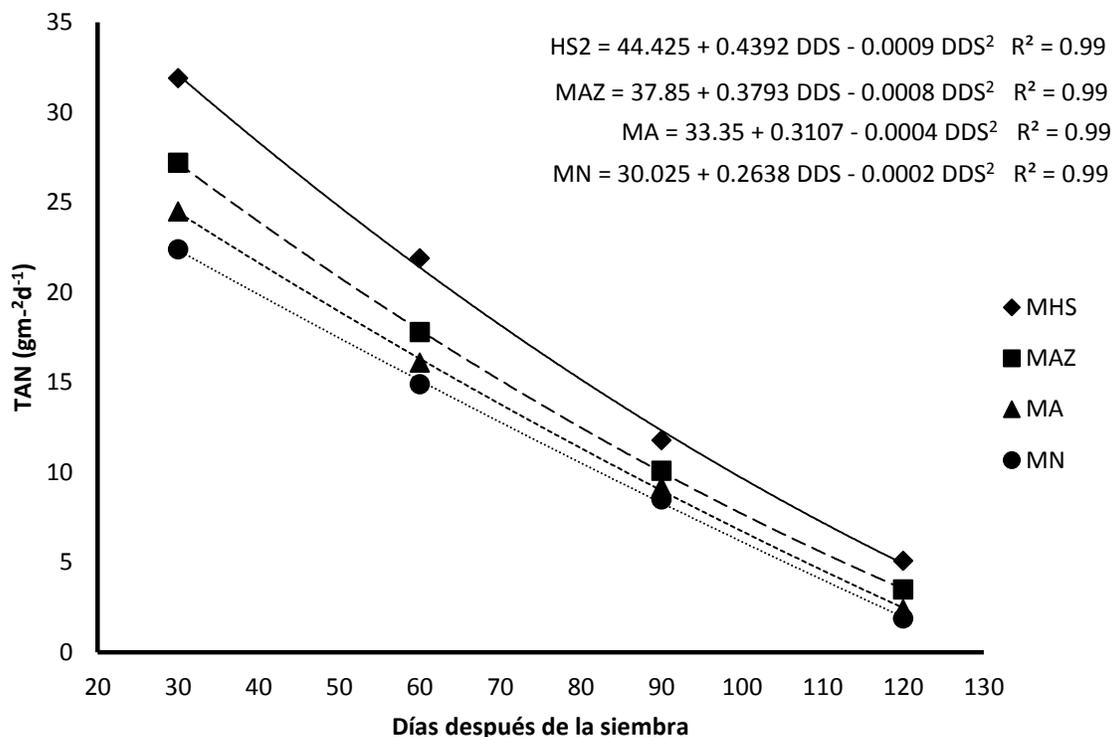


Figura 3. Dinámica de la tasa de asimilación neta (TAN) de maíz en unicultivo. Montecillo, Estado de México. Verano-Otoño. 2013.

Para maíz en asociación, a los 30 dds el ayocote asociado con maíz híbrido HS2 ($27.9 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) registraron los valores más altos, los valores más bajos se obtuvieron con la asociación de ayocote con maíz azul ($14.7 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (Figura 4). El modelo de regresión cuadrático mostró que por día la TAN aumenta en 0.492 g d m^{-2} para ayocote asociado con HS2 y 0.295 g d m^{-2} para la asociación ayocote -maíz azul.

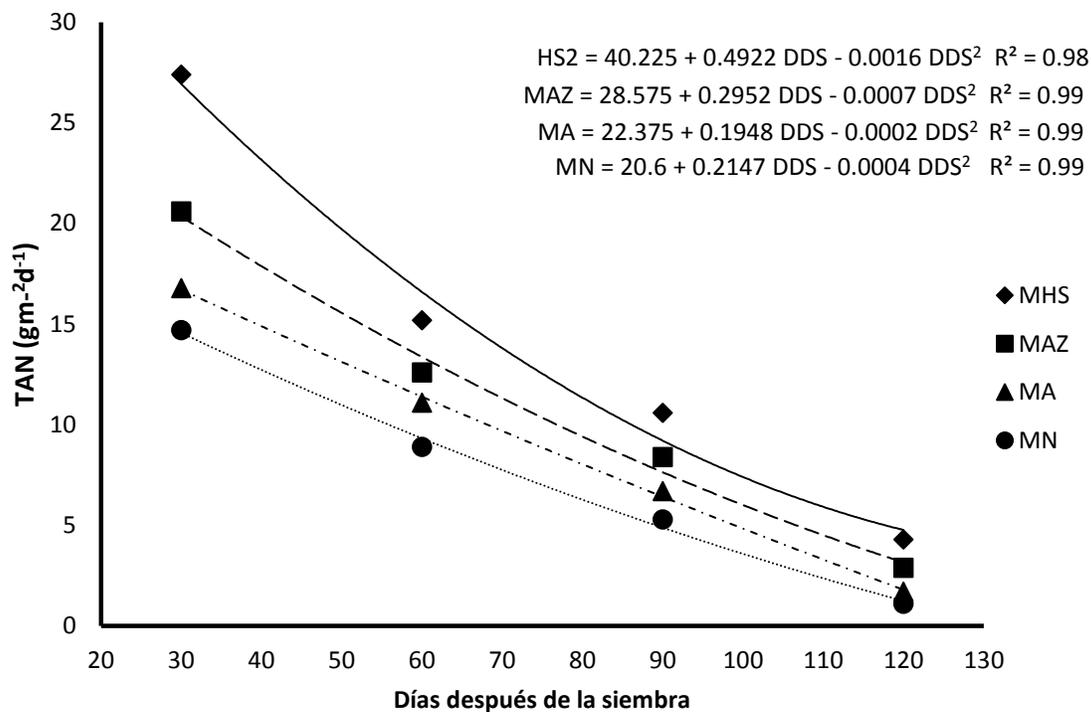


Figura 4. Dinámica de la tasa de asimilación neta (TAN) de maíz en asociado con ayocote. Montecillo, Estado de México. Verano-Otoño. 2013.

Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Ghodrati *et al.* (2013), quienes señalaron que la TAN es alta cuando las plantas son pequeñas y la mayoría de las hojas están expuestas a la radiación solar en forma directa, pero conforme el cultivo crece y el IAF se incrementa, los valores de la TAN disminuyen. Por su parte Galdámez *et al.* (2010), mencionan que el maíz asociado es más eficiente para la captura y aprovechamiento de la radiación solar que las leguminosas, pero al asociarse con especies como calabaza y frijol disminuye su eficiencia fotosintética debido a la competencia por nutrientes y esto repercute en la producción de biomasa y grano, así como sombreado de las hojas inferiores de los cultivos, de tal manera, que la tasa de asimilación neta disminuye.

Por otra parte, la disminución de la TAN después de alcanzar el máximo valor, indica que la capacidad fotosintética del dosel tiende a disminuir continuamente con el crecimiento y

expansión del dosel, y puede cesar en el momento en que las plantas alcanzan su máxima área foliar, debido principalmente al sombreado que ocurre entre las hojas de los diferentes estratos del dosel, lo cual ocasiona que la respiración tienda a ser mayor que la fotosíntesis (Hernández y Soto, 2012).

Tasa media de crecimiento de cultivo (TCC)

En la Figura 5 se presenta la dinámica de la TCC para el cultivo de ayocote, la mayor acumulación de materia seca por día se presentó en el periodo de los 60 a los 90 dds, la TCC más baja se registró a los 120 dds a la madurez fisiológica. El ayocote en unicultivo ($2.5 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) mostró los valores más altos seguido por ayocote asociado con maíz HS2 ($2.3 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) (Figura 5). El modelo de regresión mostro que el incremento más alto de MS por día fue con ayocote en unicultivo (0.106 g m^{-2}). Esto se puede atribuir a que cuando se siembra en asociación frijol-maíz existe una disminución en la acumulación de MS debido a la competencia interespecifica, siendo el frijol el más afectado (Vélez *et al.*, 2007; Delgado *et al.*, 2014). Por su parte, Escalante-Estrada, (1999), menciono que al mayor crecimiento del dosel vegetal proporciona una mayor intercepción de luz, lo cual incrementa la fotosíntesis y producción de biomasa, lo cual ésta relacionado con el rendimiento.

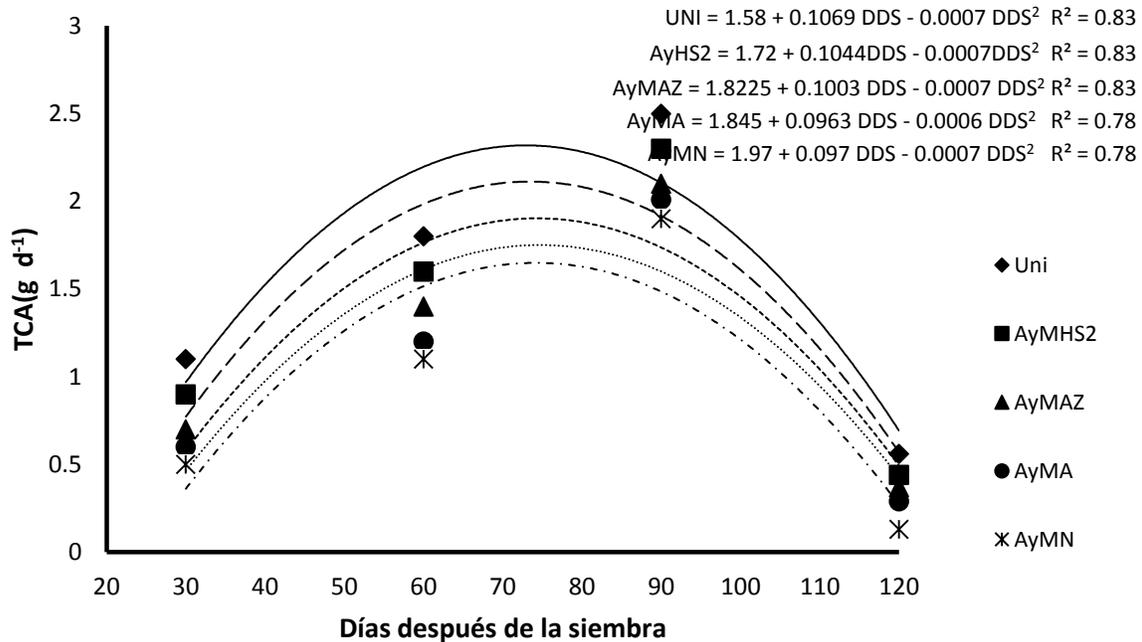


Figura 5. Dinámica de la tasa de crecimiento de cultivo (TCC) de ayocote (*P. coccineus* L.) en unicultivo y en asociación con maíz. Montecillo, Estado de Méx., México. Verano-Otoño 2013.

En la Figura 6 se muestra la dinámica de la TCC para los tratamientos de maíz en unicultivo, la mayor acumulación de MS por día se presentó en el periodo de los 60 a los 90 dds, la TCC fue disminuyendo hasta llegar a la madurez fisiológica a los 120 dds. El maíz HS-2 presento los valores más altos (31.9 g m⁻² día⁻¹). De acuerdo con el modelo de regresión, el incremento más alto de MS por día fue con HS2 (1.43 g m⁻²).

Para los tratamientos de maíz asociado la dinámica de la TCC se muestran en la Figura 7, el periodo de mayor acumulación de MS fue de los 60 a los 90 dds, disminuyendo en la etapa de madurez fisiológica (120 dds). La asociación ayocote maíz HS2, mostro los valores más altos (27.4 g m⁻² día⁻¹), asimismo, con el modelo de regresión, el incremento más alto de MS por día fue con la asociación ayocote-Maíz HS2 (1.34 g m⁻²).

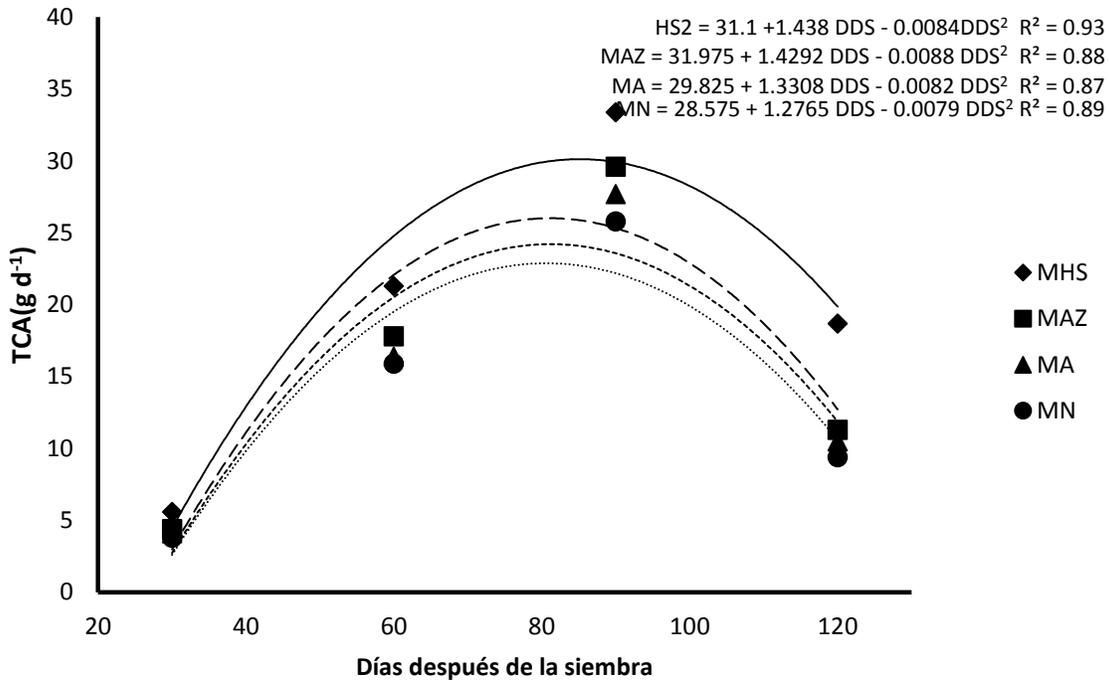


Figura 6. Dinámica de la tasa de crecimiento absoluto (TCC) de maíz en unicultivo. Montecillo, Estado de México. Verano-Otoño. 2013.

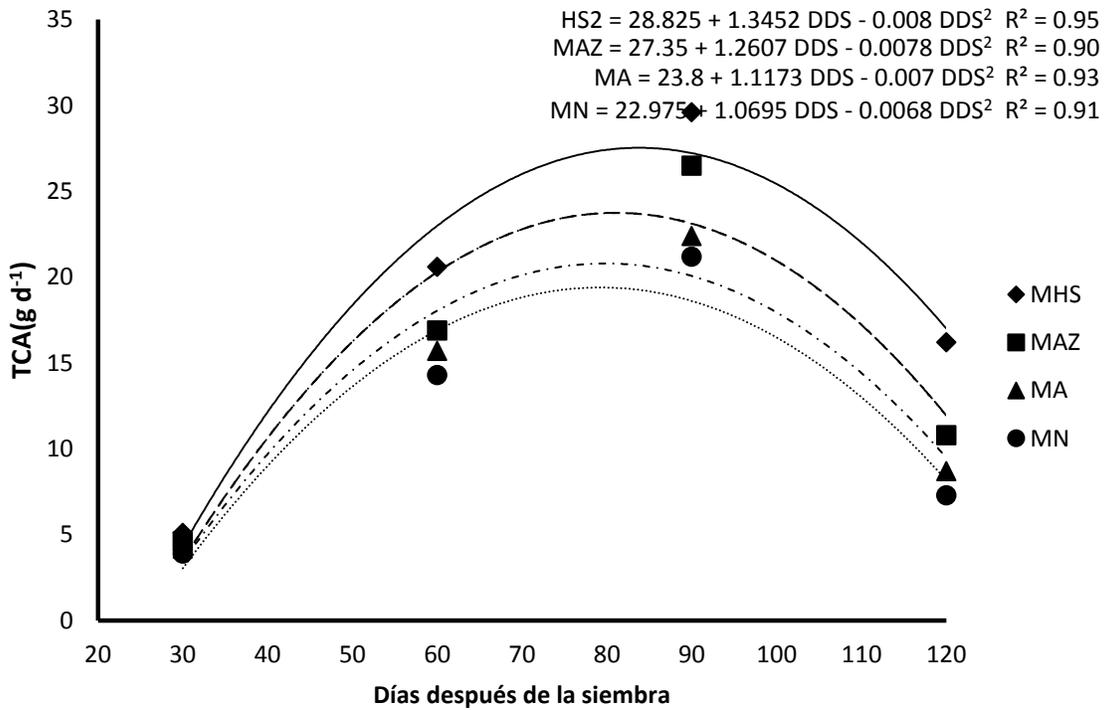


Figura 7. Dinámica de la tasa de crecimiento absoluto (TCC) de maíz en asociado con ayocote. Montecillo, Estado de México. Verano-Otoño. 2013.

Los resultados obtenidos en los tratamientos de maíz en unicultivo y asociado se pueden atribuir a la estructura del dosel del maíz HS2, sus hojas son erectofilas y permiten la penetración de la radiación a los estratos más bajos. Se ha observado que los doseles de maíz con hojas con tendencia vertical arriba de la mazorca, pueden ser más productivos comparados con aquellos donde sus hojas tienen una posición horizontal (Pendleton y Hammond, 1969; Montemayor *et al.*, 2006).

Por su parte Escalante y Rodríguez (2011), indican que la magnitud del rendimiento, está determinada por el efecto del ambiente sobre los componentes morfológicos y fisiológicos, por lo que, se supone que en la asociación maíz-frijol cuando el agua y los nutrimentos no son limitantes, los cambios en dichos componentes se deben al sombreado del maíz, que tiene efecto sobre procesos fisiológicos como la velocidad de la fotosíntesis, respiración y transpiración, y la resultante de estos procesos, es la acumulación de materia seca por la planta, la cual depende del tamaño del dosel vegetal, evaluado mediante el área foliar por unidad de superficie, la duración del área foliar y su actividad fotosintética, esto coincide con lo señalado por Vélez *et al.* (2007); Delgado *et al.* (2013); Orozco *et al.* (2016).

Biomasa total, acumulación y su distribución en los órganos de la planta

La biomasa total mostró cambios significativos en la asociación de ayocote con maíz. En todos los tratamientos (unicultivo y asociado), la BT se incrementó de forma gradual conforme avanzó el desarrollo del cultivo, los incrementos más altos se registraron de los 30 a los 90 dds (Figura 8). En ambas especies, durante las primeras etapas fenológicas, la materia seca acumulada en cultivo asociado fue menor a la del unicultivo.

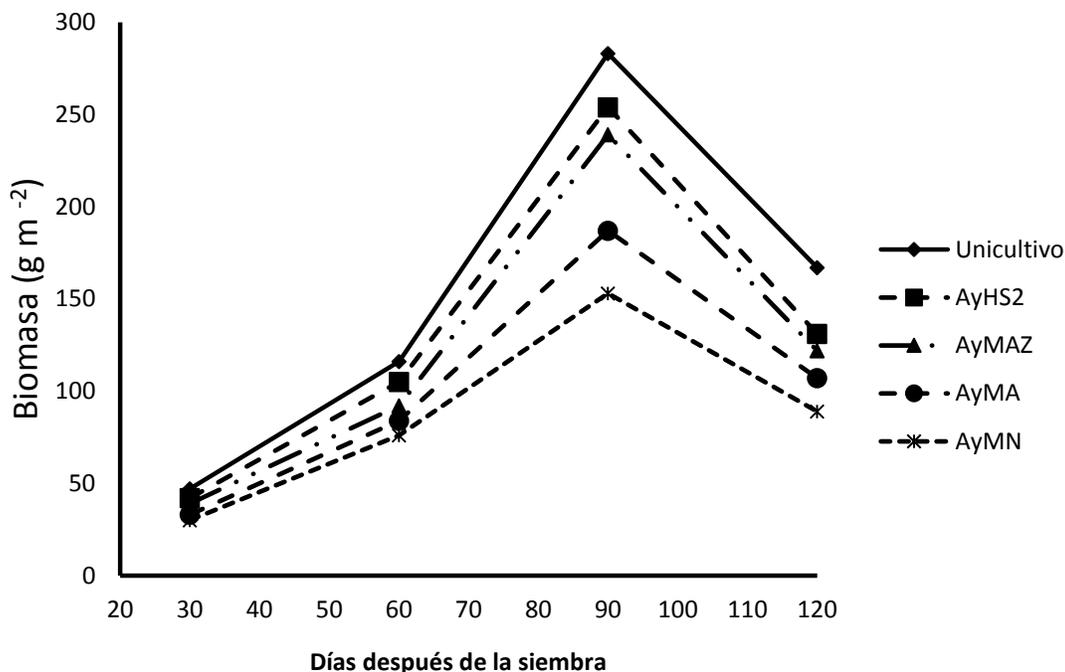


Figura 8. Dinámica de acumulación de biomasa de ayocote (*P. coccineus* L.) en unicultivo y en asociación con maíz durante el ciclo de cultivo. Montecillo, Estado de México. Verano-Otoño 2013.

La mayor acumulación de BT al término del ciclo de cultivo fue con ayocote en unicultivo (545 g m^{-2}), seguido por la asociación ayocote con maíz HS2 (514 g m^{-2}). Los órganos con mayor acumulación de MS fue el tallo (39 %), hojas (37%) y grano (28%) en ayocote en unicultivo y en asociación (Figura 9).

La producción de biomasa puede atribuirse al desarrollo y tamaño del dosel durante las primeras etapas del cultivo, el cual después de los 100 dds, la acumulación de MS en hojas tiende a disminuir debido a la redistribución de fotoasimilados hacia otros órganos en crecimiento, llenado de grano lo cual lleva al inicio de la senescencia de las hojas. En la Figura 9 se muestra la distribución de MS durante el ciclo de cultivo del ayocote, el tallo, hojas y grano son las estructuras con mayor acumulación de MS. Durante la madurez fisiológica las hojas tienden a disminuir su tamaño, puesto que durante la ontogenia, las hojas funcionan como demanda durante la etapa vegetativa, al inicio de la floración las

hojas realizan la translocación de los fotoasimilados hacia la formación y llenado de grano (Tollenaar y Bruulsema, 1988).

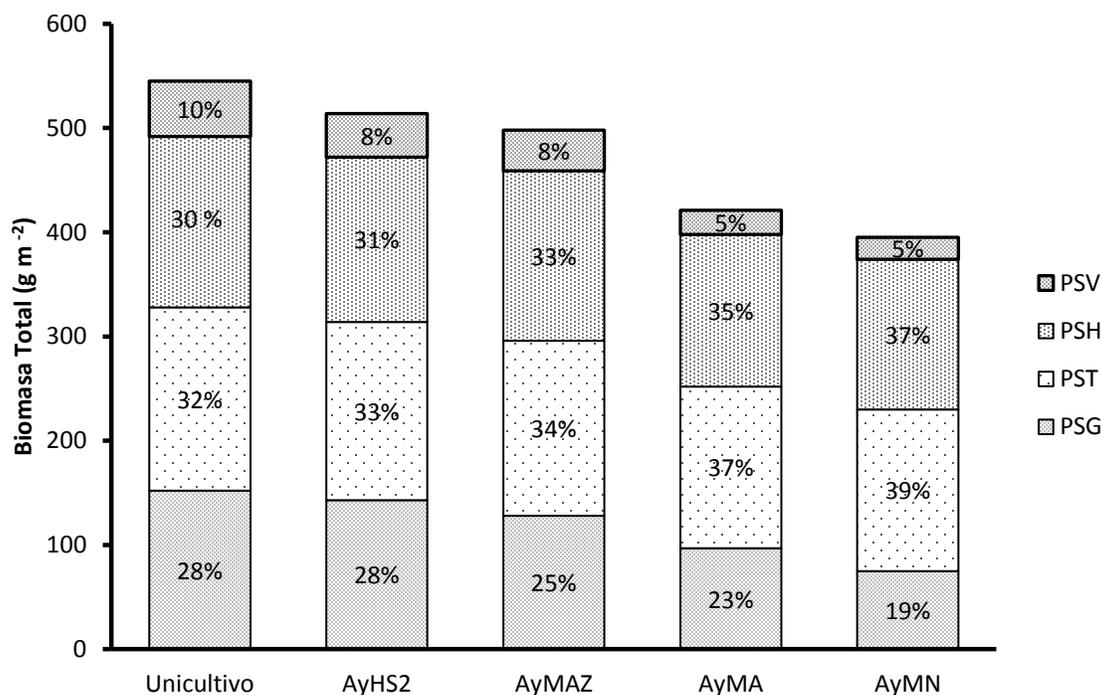


Figura 9. Biomasa total y su distribución en los órganos de ayocote en unicultivo y en asociado con maíz, Montecillo, Estado de Méx., México. Verano-Otoño 2013.

Para los tratamientos de maíz en unicultivo y asociado tuvieron una tendencia similar al del ayocote. El maíz HS2 en unicultivo y asociado mostró los valores más altos de acumulación de MS (2645 g m^{-2} y 2562 g m^{-2} , respectivamente) al término del ciclo de cultivo (Figuras 10 y 11).

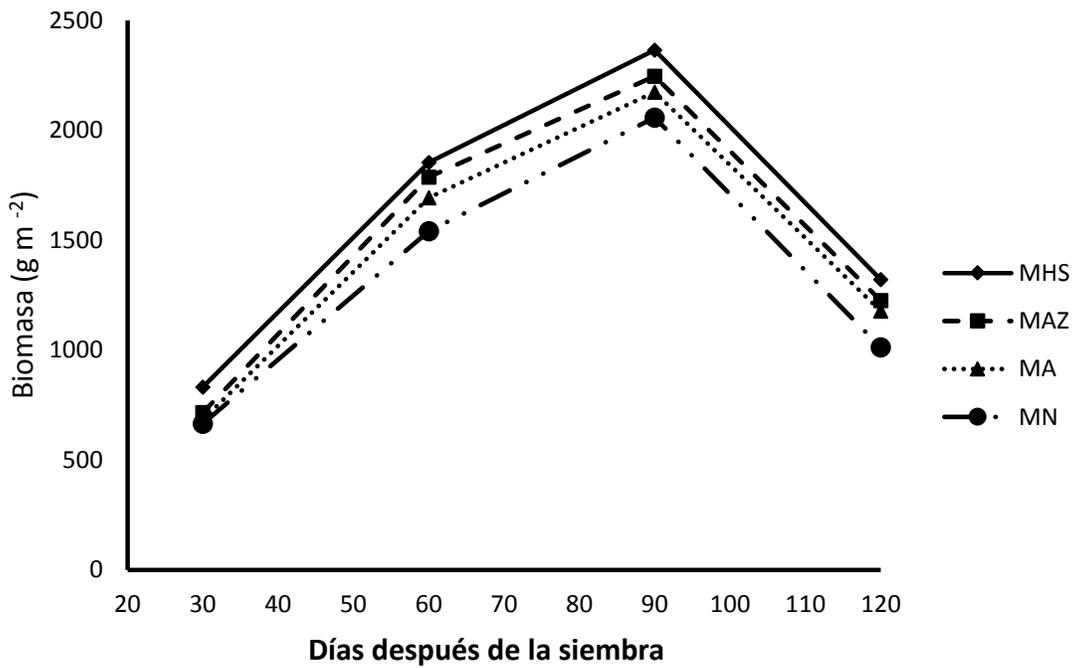


Figura 10. Dinámica de acumulación de biomasa de maíz en unicultivo durante el ciclo de cultivo. Montecillo, Estado de México, México. Verano-Otoño 2013.

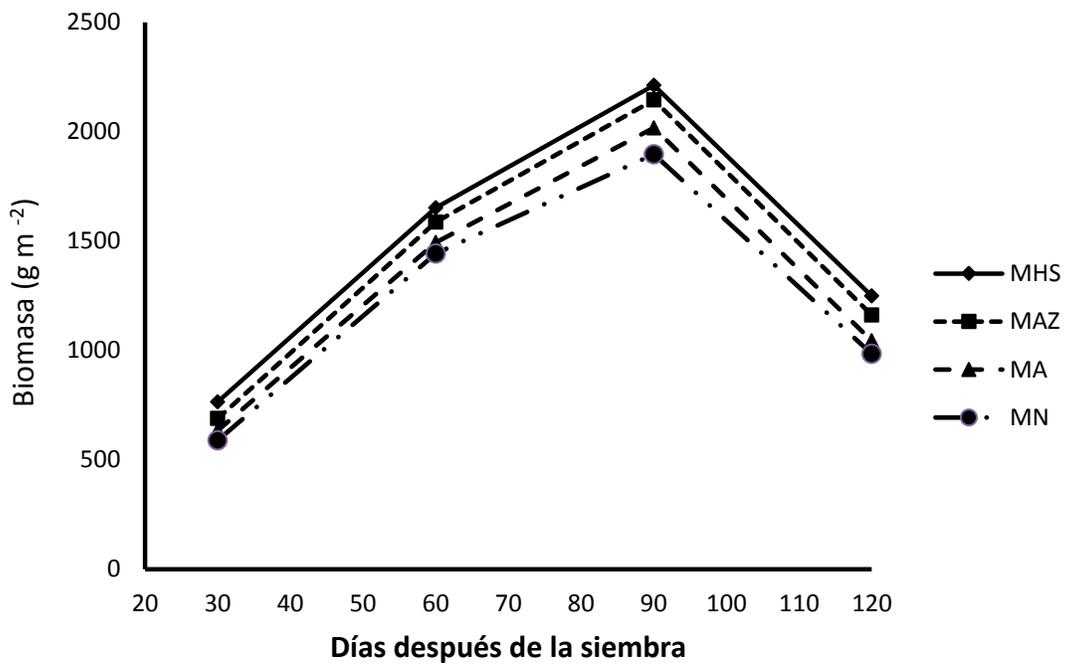


Figura 11. Dinámica de acumulación de biomasa de maíz en asociado con ayocote durante el ciclo de cultivo. Montecillo, Estado de México, México. Verano-Otoño 2013.

Los resultados de maíz en asociación muestran una disminución en la acumulación de MS, esto puede atribuirse a la competencia interespecifica por los insumos como agua, nutrimentos y radiación entre el maíz y ayocote, Vélez *et al.* (2007) y Escalante *et al.* (2014) señalan que cuando se siembra bajo este sistema de cultivo existe una reducción en la producción de MS, dicha reducción puede verse reflejada en el rendimiento de grano de una o ambas especies.

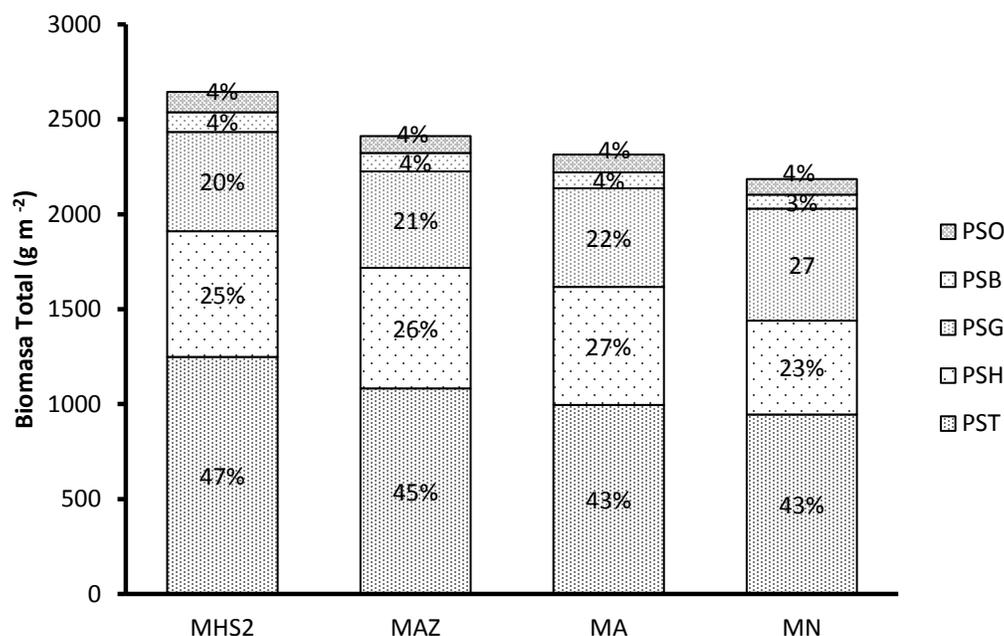


Figura 12. Biomasa total y su distribución en los órganos de maíz en unicultivo durante el ciclo de cultivo. Montecillo, Estado de Méx., México. Verano-Otoño 2013.

En maíz en unicultivo (Figura 11) y asociado (Figura 12), las estructuras con mayor acumulación de MS fueron las hojas y el tallo, esto se puede atribuir a la acumulación de MS en las hojas durante la etapa vegetativa del cultivo, después de los 100 dds la acumulación de MS en las hojas tendió a disminuir debido a la redistribución de materia seca hacia otros órganos en crecimiento, puesto que durante la ontogenia, las hojas funcionan como demanda en un tiempo y como fuente en otro (Cárcova *et al.*, 2003; Vélez *et al.*, 2011, Escalante *et al.*, 2014).

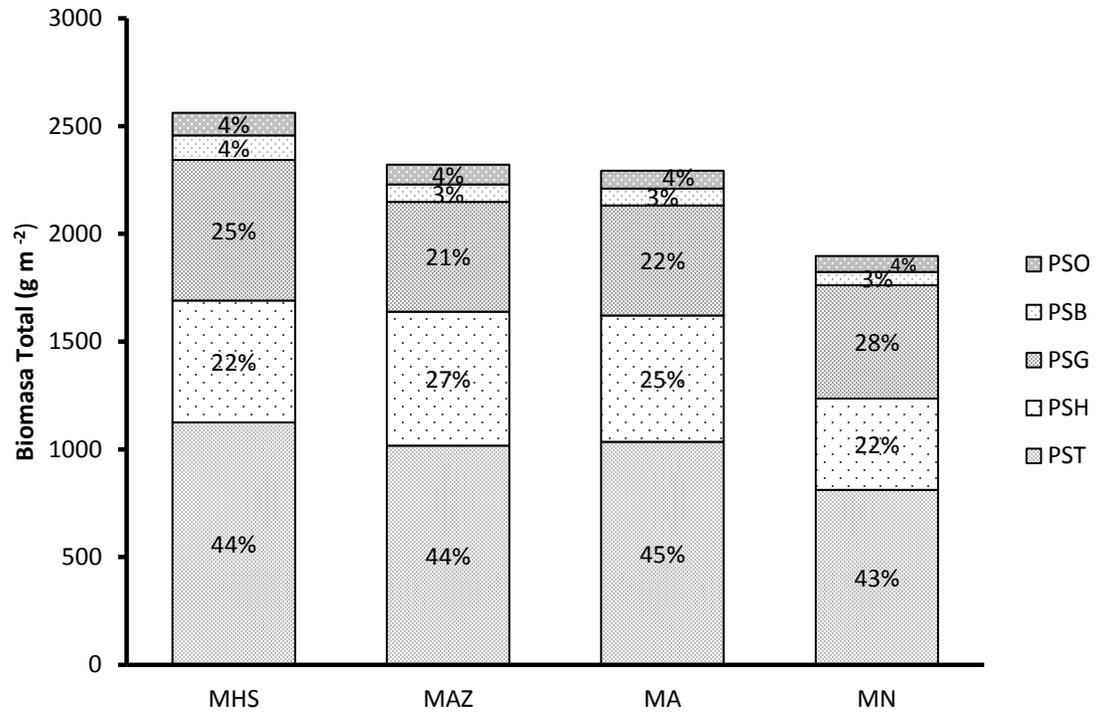


Figura 13. Biomasa total y su distribución en los órganos de maíz en asociación con ayocote durante el ciclo de cultivo. Montecillo, Estado de Méx., México. Verano-Otoño 2013.

CONCLUSIONES

La producción de biomasa del ayocote y maíz es mayor en unicultivo que en asociación. La asociación ayocote con maíz HS2 presenta mayor acumulación de materia seca que con maíces criollos. La producción y acumulación de BT se relaciona con una mayor duración del área foliar, número de hojas y tasas de crecimiento del cultivo. La distribución de materia seca de los órganos de las plantas de ayocote y de maíz es afectada por la asociación.

LITERATURA CITADA

Ann CE, Francis CA. 1985. Bean - maize intercrops: A comparison of bush and climbing bean growth habits. *Field Crops Res.* 1: 319-335.

Acosta-Díaz E.; Amador R. M. D.; Padilla R. J. S.; Gómez D. J. P; Valadez M. H. (2007) Biomasa y rendimiento de frijol tipo flor de junio bajo riego y sequía. *Agricultura Técnica en México.* 33(2): 153-162.

Aguilar C. C.; Escalante-Estrada J.A.S.; Aguilar M. I. (2015). Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima calido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra latinoamericana,* 33(1): 51-62.

Apáez , B. P., J. A. Escalante E. and M. T. Rodríguez G. 2011. Grow and yield of cowpea vean in relation with trellises types and climate.rop. *Subtrop.Agroec.* 13 (3):307-315

Apáez B. P.; Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-Gutiérrez M. T. (2013). Producción de vaina verde en frijol chino y tipo de espaldera en clima cálido. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19(1): 129-140.

Barrios-Gómez E. J.; López-Castañeda C.; Kohashi-Shibata J.; Acosta-Gallegos J. A.; Miranda-Colín S.; Mayek-Pérez N. (2010). Rendimiento de semilla, y sus componentes en frijol flor de mayo en el Centro de México. *Agrociencia* 44: 481-489.

Barrios-Gómez E. J.; López-Castañeda C.; Acosta-Gallegos J. A.; Miranda-Colín S.; Canul-Ku J. (2011). Efecto del estrés hídrico en el crecimiento y desarrollo de frijol. *Investigación Agropecuaria.* 8 (1): 1-15.

Bildiric N., Aldemir R., Karsli M. A. y Dogan Y. (2009) Potential Benefits of Intercropping corn with runner bean for small-sized farming system. *Asian-Aust J. Anim. Sci.* 22 (6):836-842.

Castillo M. M. R.; Ramírez V. P.; Castillo G. F. y Miranda C. S. (2006) Diversidad morfológica de poblaciones nativas de frijol común y frijol ayocote del oriente del estado de México. *Rev. Fitotec. Mex.* 29 (2): 111 – 119.

Cárcova J., B. Andrieu, M. E. Otegui. 2003. Silk growth in maize: relations ship with flower development and pollination. *Crop Sci,* 43:914-920.

Delgado M.R.; Escalante-Estrada J.A.S.; Díaz R.; Trinidad S.A.; Morales E.J. y Sosa M.E. (2014). Defoliación en maíz y su efecto sobre el rendmiento de frijol-maíz en asociación. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas.* 5(6): 1015-1027.

Díaz C.; Rivera J.; Quiroz J. (1995). Crecimiento y desarrollo del maíz y frijol trepador en monocultivo y asociación. *Actulidades Corpoica Medellin, Regional.* 4(9):5-10.

Díaz López E.; Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T.; Gaytán A. (2010). Producción de frijol ejotero en función del tipo de espaldera. Revista Chapingo Serie Horticultura. 16: 215-221.

Escalante-Estrada, J. A., Kohashi-Shibata, J. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México.

Escalante-Estrada, J. A. 1999. Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. Terra. 17: 149-157.

Escalante-Estrada, J. A. S. 2001. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y nitrógeno en girasol de humedad residual. Terra 19: 19-27.

Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T.; Escalante-Estrada Y.I. (2014). Tasa de crecimiento de biomasa y rendimiento de frijol en función del nitrógeno. Ciencia y Tecnol. Agrop. México 2(1):1-8.

Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T.; Escalante-Estrada Y.I. (2015). Acumulación y distribución de materia seca en cultivares de maíz asociados con frijol en clima templado, Revista mexicana de Ciencias Agrícolas, 12:139-143

Galdámez-Galdámez J.; Aguilar-Jiménez C.E.; Gutiérrez-Martínez A.; Morales-Cabrera J.A.; Mendoza-Pérez S.; Martínez-Aguilar F. (2010). Maíz asociado con frijol, canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) y calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) en Villaflores, Chiapas. Quehacer Científico en Chiapas 2010 1(10) 18-29

García, E. L. (2005). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a (Ed.). Universidad Autónoma de México (UNAM). D. F., México. 217 p.

Ghodrat, V.; M. Rousta; A. Karampour. 2013. Growth analysis of corn (*Zea mays* L.) as influenced by índole-butyric acid and gibberllic acid. Journal of Basic and Applied Scientific 3(2):180-185.

Hanway, J. J. 1963. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). Agron. J. 55:487-492.

Hernández C. N., Soto C. F. (2012). Influencia de tres fechas de siembra sobre el crecimiento y la relación fuente demanda del cultivo del maíz (*Zae mays* L.) Cultivos Tropicales, 33 (1):28-34

Montemayor T. J. A., Zermeño G. A., Olague R. J., Aldacio N. R., Fortis H. M., Salazar S. E., Rodríguez R. J. C., Vázquez V. C. (2006). Efecto de la densidad y estructura del dosel de maíz en la penetración de la radiación solar (con 3 tablas). *φYTON* 75

Morales R. E. J., Escalante E. J. A. S., Tijerina C. L., Volke H. V. H., Sosa M. E. (2006). Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la relación solar del agrosistema girasol-frijol. Terra Latinoamericana. 24(1): 55-64

Orozco Vidal J. A., Ramírez T. R., Segura C. M. A., Yescas C.P., Trejo V. R., Vidal A. J. A. (2016). Fuentes de nitrógeno en el crecimiento y producción de biomasa en maíz. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*. 7(101): 185-194.

Plendleton J. W.; Hammond J.J. (1969) Relative photosynthetic potential for grain yield of various leaf canopy levels of corn. *Agronomy Journal* 61:911.

Rasband, W. S. 2007. ImageJ. US National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://rsweb.nih.gov/ij/>.

Rincón Álvaro; Ligarreto G.A.; Sanjueanelo D. (2007) Crecimiento del maíz y los pastos (*Brachiaria sp.*) establecidos en monocultivo y asociados en suelos ácidos del piedemonte llanero colombiano. *Agronomía Colombiana*. 25(2): 264-272.

Rincón, G. N.; Olarte Q. M. A.; Pérez N. J. C. (2012) Determinación del área foliar en fotografías tomadas con una cámara web, un teléfono celular o una cámara semiprofesional. *Rev. Fac. Nal. Arg. Medellín* 65(1):6399-6405.

Ritchie, J. T. y D.S. NeSmith. 1991. Temperature and crop development. *In*: Hanks, J. and Ritchie, J. T. (Ed.). *Modeling plant and soil systems*. Agron. Monogr. 31. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. 5-29 pp.

Rojas-Victoria N.J.; Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T. (2015). Biomass and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) in association with maize. *Ann. Rep. Bean. Improv. Coop.* 58:129-130.

Salinas R. N.; Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T. y Sosa E. (2008). Rendimiento y calidad nutricional de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en fechas de siembra. *Rev. Fitotec. Mex.* 31:235-241.

Santos C., M., M. Segura A. y C. E. Núñez L. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 63: 5253-5266.

SAS Institute Inc. 2011. SAS® 9.3 Guide to Software updates. Cary, NC:SAS Institute Inc.
Tanaka A. y Yamaguchi J. (1984). Producción de materia seca, componentes de rendimiento y rendimiento de grano de maíz. Traducido por J. Kohashi. Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo. México. p. 120 -124.

Tollenar, M. y Bruulsema T.W. (1988). Efficiency of maize dry matter production during periods of complete leaf area expansion. *Agron. J.* 80:580-585.

Thomas-Newton M.; Abramo M. J.; Fernandes de Sousa A. K.; Curti G. L.; Fogolar H.; dos Santos C. V. (2013) Utilizando el software ImageJ para estimar el área foliar para el cultivo de frijol. *Interciencia*, 38(12):843-848.

Tsubo M, Mukhala E, Ogindo HO, Walker S. (2003) Productivity of maize-bean intercropping in semi-arid region of South Africa. *Water* 29 (4): 381-388.

Tsubo, M. y Walker, S. (2004). Shade Effects on *Phaseolus vulgaris* L. Intercropped with *Zea mays* L. under well-watered conditions. *J. Agron. Crop Sci.* 190:168-176.

Vargas V, P. e M. Irizar G. 2001. Distribución de materia seca en el frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.), variedad blanco Tlaxcala. *Agricultura Técnica en México* 27(1): 69-71.

Vélez, V. L. D.; Clavijo P.J.; Ligarreto G.D. (2007). Análisis ecofisiológico del cultivo asociado maíz (*Zea mays* L.) – fríjol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín.* 60(2):3965-3984.

Woo R., J. L., R. Vázquez A., E. Olivares S., F. Zavala G., R. González G., R. Valdez C. y C. Gallegos V. 2004. Análisis de crecimiento en maíz (*Zea mays* L.) aplicando lodos activados y urea. *Sistema de producción agropecuaria. Agrofaz* 4: 437-441.

CAPITULO III
RENDIMIENTO DE AYOCOTE Y MAÍZ EN EL AGROSISTEMA
ASOCIADO EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE PLANTAS POR MATA

RENDIMIENTO DEL AYOCOTE Y MAÍZ EN EL AGROSISTEMA ASOCIADO EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE PLANTAS POR MATA

RESUMEN

El ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa nativa de México con potencial alimenticio. Para lograr mayor distribución en el espacio, captación de radiación solar y producción de materia seca (MS), el ayocote trepador necesita espalderas. Las espalderas convencionales elevan el costo de producción, por lo que el ayocote puede sembrarse utilizando al maíz como tutor. Para incrementar el rendimiento de grano, se ha recurrido al manejo de la densidad de población y arreglo topológico. El objetivo del estudio conducido en Montecillo, México, en el ciclo primavera-verano de 2014, fue determinar el número de plantas de ayocote y maíz por mata en asociación más apropiado para lograr mayor producción de biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes. Los tratamientos fueron resultado de la combinación de 1, 2 y 3 plantas de ayocote y de 1, 2, y 3 de maíz azul por mata. Se registraron las etapas fenológicas, biomasa total (BT), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG) y sus componentes en ambos cultivos. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Los días a fases fenológicas en ayocote y maíz, fueron similares entre tratamientos. En la asociación maíz-ayocote los cambios en el número de plantas por mata de ambos cultivos, afectan BT, IC, RG y sus componentes tanto en ayocote como maíz. La combinación para lograr la mayor BT, RG e ingreso neto se logró con tres plantas de ayocote y una de maíz.

Palabras clave: Densidad de población, arreglo topográfico, ingreso neto.

YIELD OF AYOCOTE AND MAIZE IN ASSOCIATED AGROSYSTEM DEPENDING ON THE PLANTS NUMBER PER HILL.

SUMMARY

The ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) is a leguminous native of Mexico with potential as foodstuff. To achieve greater distribution in space, capturing solar radiation and production of dry matter (MS), the climbing ayocote need trellises. The conventional trellises raise the cost of production and hence the ayocote can be grown using maize as a trellis. To increase grain yield, has resorted to the management of the population density and topological arrangement. The objective to determine if the number of plants of ayocote and maize affect biomass production, harvest index, grain yield and its components. The study was conducted in Montecillo, Mexico in the spring-summer season of 2014. The treatments were, a result of the combination of 1, 2 and 3 plants of ayocote and 1, 2, and 3 “Azul” maize “Azul” per hill. It was registered days to phenological stages, total biomass (TB), harvest index (HI), grain yield (GY) and its components in both crops. The experimental design was a randomized complete blocks with four repetitions. The phenological phases days in ayocote and maize were similar between treatments. In the association maize-ayocote the changes in the number of plants per hill in both crops, affect TB, HI, GY and its components. In the ayocote-maize agrosystem, TB, GY and its components are affected by the number of plants of ayocote and maize by hill. The combination to achieve the greatest TB, GY and net income was achieved with three plants of ayocote and one of maize.

Key words: Density of population, typographic arrangement, economic analysis.

INTRODUCCIÓN

El ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa nativa de México, originaria de las zonas templadas del territorio mexicano, con gran potencial de uso y aprovechamiento con fines alimenticios para la población humana mediante el uso de su follaje, flores, vainas y semillas (Basurto *et al.*, 1996; Ayala *et al.*, 2006). En la actualidad, la especie representa una opción de producción de alimentos en áreas marginales en Valles altos de México. El rendimiento en grano (RG) de un cultivo depende de varios factores, como son la variación en tipo de suelo, elementos del clima, cultivar utilizado y manejo del cultivo (Escalante *et al.*, 2013), dentro del cual la densidad de población (DP) puede ser determinante para el incremento en el RG, que puede estar en función de la duración del ciclo de crecimiento, hábito de crecimiento del cultivar, fertilización y disponibilidad de agua, entre otros factores. En ayocote existen cultivares de tipo trepador, por lo cual es necesario el uso de espalderas, como la convencional que consiste de postes de madera común o de estructuras metálicas con malla, que elevan considerablemente el costo de producción, algunos agricultores no utilizan tutores en la siembra del ayocote y el rendimiento es bajo. Una alternativa es la siembra del ayocote en asociación con maíz, el cual funciona como tutor o espaldera viva. Dicha asociación presenta ventajas, ya que ambas especies por sus diferencias morfológicas y fisiológicas se complementan mutuamente en el uso de los recursos (agua, radiación, nutrimentos), de la misma forma, influye en la distribución en el espacio, captación de radiación solar y en consecuencia mayor producción de dosel (Delgado *et al.*, 2014; Rojas *et al.*, 2015). Sin embargo, cuando se siembra bajo este arreglo existe una reducción en el rendimiento de una o ambas especies, debido a la competencia interespecífica. La leguminosa es la más afectada bajo este esquema con una reducción de 25% a 50% en relación al monocultivo (Vélez *et al.*,

2007; Escalante *et al.*, 2015). Por otra parte, se asume que bajo condiciones no limitantes de agua y nutrimentos, la reducción en RG en frijol se debe al sombreado ocasionado por el maíz, que puede limitar una mayor expresión del número de granos y consecuentemente del RG (Fageria *et al.*, 2010, Delgado *et al.*, 2015; Rojas *et al.* 2015). Para incrementar dicho RG se ha recurrido a diferentes prácticas agrícolas. Dentro de estas, la DP y el arreglo topológico (AT) se consideran de importancia, para incrementar RG y la eficiencia en el uso de los insumos agrícolas (Jiménez y Acosta, 2013). Los cambios en la DP se pueden lograr al elevar el número de plantas por hilera y/o el número de plantas por mata en cada hilera para buscar mayor intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (RFA), un uso más eficiente del agua y nutrimentos (Escalante *et al.*, 2010). Algunos estudios señalan que el AT y el aumento en DP no afectan los días a ocurrencia de las fases fenológicas en frijol, aunque independiente de la arquitectura del cultivar, disminuye la acumulación de biomasa (BT) y RG por planta, pero no afecta la distribución de MS en los órganos de la planta. Sin embargo, la producción de BT y RG por unidad de superficie aumentan hasta cierto límite (Delgado *et al.*, 2015). Escalante *et al.* (2014); mencionan que a mayor DP, el RG por hectárea y la altura de la planta se incrementan. En la medida en que se incrementa el número de plantas, aumenta la cobertura vegetal por área del cultivo; reduciendo la pérdida de agua por evaporación al cubrir mayor área del suelo y aumentando la captación de radiación solar, como consecuencia, se tiene una mayor producción de MS (Martínez *et al.* 2011; Osuna *et al.*, 2012; Jiménez y Acosta, 2013). Delgado *et al.* (2014) al evaluar el efecto de la DP y nitrógeno sobre el rendimiento del frijol ejotero en asociación con maíz, encontraron que el rendimiento de ejote y número de ejotes más alto ocurrió con dos plantas de frijol por mata y $150 \text{ kg} \cdot \text{N ha}^{-1}$. Por otra parte, los resultados de Apáez *et al.* (2013) en frijol chino asociado con maíz y girasol, reportan que el RG y BT de frijol está

determinado por el cultivo utilizado como tutor. El objetivo del estudio fue determinar si el número de plantas de maíz y ayocote por mata en la asociación maíz-ayocote afectan la producción de biomasa, rendimiento y sus componentes de grano del ayocote, maíz y del agrosistema ayocote-maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció en el campus experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, (19° 29' N y 98° 54' O, 2250 m de altitud), con clima Cw que corresponde al templado (García, 2005), con período libre de heladas de 170 días, temperatura media anual de 15.4 °C y precipitación media anual de 512 mm; el suelo es de textura franco-arenoso, con pH de 7.1, CE de 0.49 (sin problemas de salinidad). La siembra se realizó el 5 de mayo de 2014, con un cultivar (Cv) de Ayocote (A) procedente de Juchitepec, Estado de México, México, de grano color violeta, hábito de crecimiento indeterminado trepador (Tipo IV); y maíz criollo azul (M) de la raza chalqueño. La distancia entre matas fue de 0.30m y 0.80 m entre hileras. El cultivo se desarrolló solo con la fertilidad residual del suelo. Los tratamientos consistieron en la siembra de 1, 2, 3 plantas de ayocote y de 1, 2, 3 de maíz por mata, teniendo una densidad de 4.16, 8.3 y 12.3 plantas m⁻² para cada especie, respectivamente. Esto generó una combinación de nueve tratamientos (Cuadro 1). El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió de tres surcos de 5 m de longitud con orientación este a oeste, tomando el surco central como parcela útil (menos 50 cm de cada extremo).

Cuadro 1. Tratamientos que generaron la combinación de número de plantas de ayocote (NPA) y número de plantas de maíz (NPM) por mata, en la siembra asociada ayocote-maíz. Montecillo, Méx. Verano 2014.

| Tratamiento | Plantas de Ayocote | Plantas de Maíz | Simbología |
|-------------|--------------------|-----------------|------------|
| 1 | 1 | 1 | 1A +1M |
| 2 | 1 | 2 | 1A + 2M |
| 3 | 1 | 3 | 1A + 3M |
| 4 | 2 | 1 | 2A + 1M |
| 5 | 2 | 2 | 2A + 2M |
| 6 | 2 | 3 | 2A + 3M |
| 7 | 3 | 1 | 3A+ 1 M |
| 8 | 3 | 2 | 3A + 2M |
| 9 | 3 | 3 | 3A + 3M |

A= ayocote; M=maíz.

Durante el desarrollo del cultivo se registraron las variables climáticas: temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x}$) y mínima ($T_{m\acute{i}n}$) diaria, evaporación (EVP) y precipitación (PPT); además los días a ocurrencia de las fases fenológicas como: para ayocote, emergencia (E), floración (R6) y madurez fisiológica (R9) para ayocote, bajo los criterios presentados por Escalante y Kohashi (2015), mientras que para maíz, fueron los días a: emergencia (E), etapa vegetativa (EV), floración (R1) y madurez fisiológica (R6) según el criterio presentado por Hanway (1963), el registro de las etapas fue cuando el 80% de las plantas presentaron las características antes mencionadas. A la cosecha del ayocote se registró rendimiento de grano (RG, $g\ m^{-2}$), y sus componentes como: número de vainas con grano m^{-2} (NV); número de granos por vaina (GV); tamaño de grano (g) mediante el peso de 100 granos (PCG); número de granos m^{-2} (NG), biomasa total (materia seca, $g\ m^{-2}$, BT) (sin incluir raíz); índice de cosecha (IC) calculado mediante la relación: $IC = RG/BT$. En maíz se evaluó rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, $g\ m^{-2}$); número de hileras (NH); número de granos por hilera (NGH); longitud de mazorca (LM); diámetro de mazorca (DM) (parte central), tamaño del grano (g) mediante el peso de 100 granos

(PCG), número de granos m^{-2} (NG); biomasa total (MS $g m^{-2}$, BT, sin incluir raíz), índice de cosecha (IC) con la relación $IC=(RG/BT) \times 100$. A los datos de las variables en estudio se les aplicó un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$), utilizando el programa SAS versión 9.2 (SAS 2003). Adicionalmente, se realizó un análisis económico a la variable de rendimiento de grano para ayocote y grano en maíz para determinar el mayor ingreso neto del agrosistema, utilizando la siguiente relación presentado por Volke, (1982):

$$IN = Y \times Py - (\sum X_i P_i + CF)$$

Donde:

IN = ingreso neto,

Y = rendimiento ($kg \cdot ha^{-1}$),

Py = precio del grano ($pesos \cdot kg^{-1}$),

$\sum X_i P_i$ = suma de costos variables ($pesos \cdot ha^{-1}$),

CF = costos fijos ($pesos \cdot ha^{-1}$).

Costo fijo (CF): incluye manejo del cultivo, manejo de plagas y enfermedades, manejo de maleza, mano de obra, transporte, cosecha.

Costo Variable (CV): precio y cantidad de semilla y fertilizante

Costo Total (CT): Costo fijo + costo variable

Ingreso Total (IT): rendimiento por el precio de Kg de grano de ayocote (\$25.00) y maíz (\$ 6.00)

Ingreso Neto (IN): Ingreso total-costo total

Tasa de Retorno (TR): IN/CT.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fenología y elementos del clima

Para ayocote y maíz, los días a ocurrencia a fases fenológicas fueron similares entre tratamientos. En ayocote las fases de E, R6 y R9 ocurrieron a los 12, 70 y 126 días después de la siembra (dds), respectivamente. Para maíz, E, R1 y R6 fue a los 10, 69 y 148 dds, respectivamente. Durante el desarrollo del cultivo, la precipitación (PP) estacional fue de 512 mm, de la cual el 56% ocurrió en la etapa vegetativa y el 44 % restante en la fase reproductiva (Figura 1).

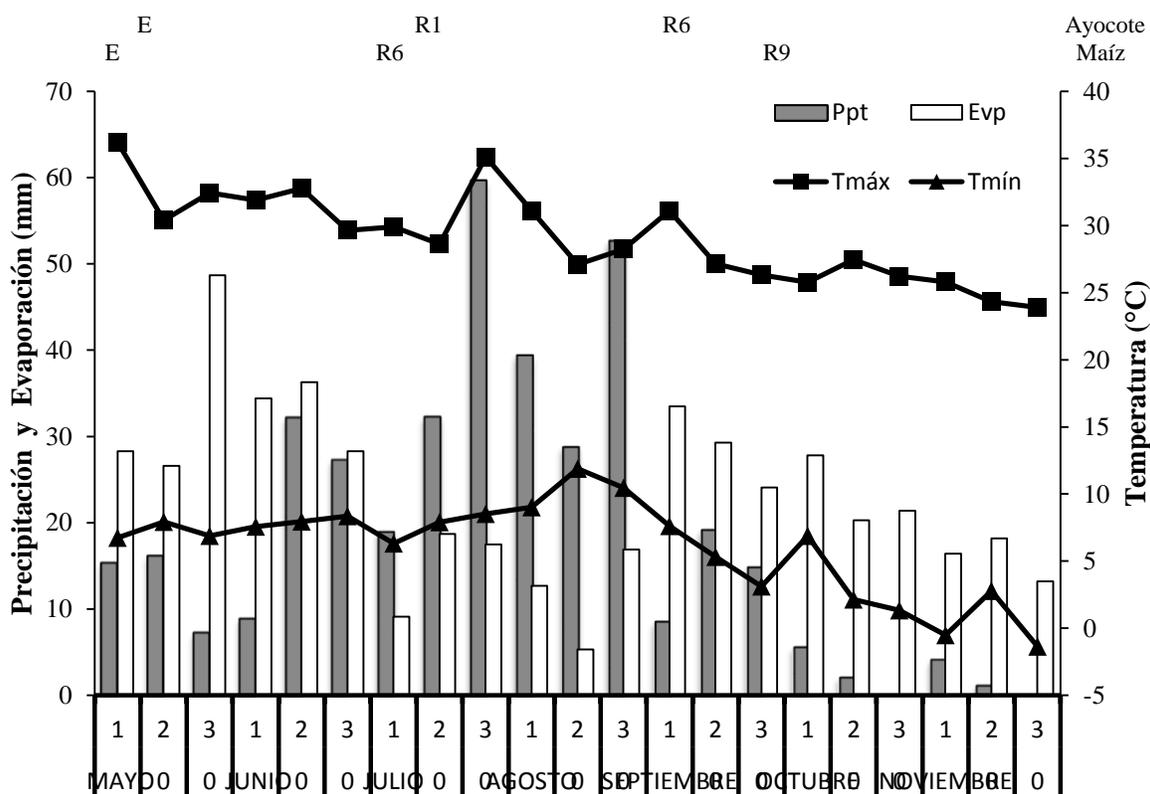


Figura 1. Temperatura máxima (Tmáx) y mínima (Tmín) (media decenal), la suma decenal de la evaporación (Evp,mm) y precipitación (Ppt,mm) durante el ciclo de los cultivos de maíz y ayocote. Montecillo, Méx. 2014. Para ayocote E=Emergencia, Ev=Etapa vegetativa, R6= Floración y R9 = Madurez fisiológica; para maíz R1=floración y R6=madurez fisiológica.

Resultados semejantes han sido reportados en frijol de hábito de crecimiento indeterminado en asociación con girasol y maíz por Salinas *et al.* (2008), Díaz *et al.* (2010), Delgado *et al.* (2014) para la región de Texcoco, México. Por otra parte, se observó que durante las etapas vegetativa y reproductiva para ambos cultivos, la temperatura máxima y mínima promedio fue de 30°C y 5°C. La temperatura máxima fue superior a la óptima para ayocote que se reporta en un intervalo de 25°C a 28°C (Masaya y White, 1991; Barrios-Gómez *et al.*, 2010). La temperatura más alta fue de 35 °C. Ritchie y NeSmith (1991) señalan que la temperatura entre los 25 a 28 °C favorece el desarrollo de un mayor dosel vegetal de ayocote. Asimismo, la precipitación y humedad residual influyen en el desarrollo del cultivo, específicamente su variación en las primeras etapas de crecimiento (Escalante *et al.* 2001, Barrios-Gómez *et al.*, 2011).

Biomasa total (BT), índice de cosecha (IC%) y rendimiento de grano (RG) de Ayocote

La biomasa total (BT), índice de cosecha (IC), y rendimiento en grano (RG) de ayocote mostraron cambios significativos por efecto de NPA y NPM por mata (Cuadro 2). Para ayocote, los valores más altos de BT se registraron con los tratamientos 3A+1M y 3A+2M con 860 y 839 g m⁻², respectivamente; los cuales superan al resto de los tratamientos en 30%. Los tratamientos 1A+1M, 1A+2M y 1A+3M presentaron los valores más bajos de estas variables. Esto se puede atribuir a que el mayor NPM contra una planta de ayocote por mata pudo generar mayor competencia por radiación solar, agua y nutrientes, que condujo a una producción de ayocote más baja. Tendencias semejantes han sido reportados por Vélez *et al.* (2007) y Díaz *et al.* (2010). Delgado *et al.* (2015) al estudiar el efecto de la DP sobre el rendimiento del frijol ejotero en espaldera de maíz, encontraron que el mayor rendimiento y número de ejotes se logró con dos plantas de frijol y una de maíz, en el

presente estudio se incrementó el RG al aumentar el número de plantas de ayocote (tres plantas).

Cuadro 2. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes de ayocote (*P. coccineus* L.), en asociación en función del NPA y NPM por mata. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014.

| Tratamiento | RG gm ² | BT gm ² | IC% | TG (g) | NG m ² | NV m ² | GV |
|---------------|--------------------|--------------------|-----|--------|-------------------|-------------------|------------------|
| 3A+1M | 258a | 860a | 30b | 0.27b | 945a | 568a | 3.4c |
| 3A+2M | 250ab | 839a | 30b | 0.25b | 975a | 520a | 3.4c |
| 3A+3M | 236b | 814a | 29c | 0.24b | 970a | 523a | 3.1d |
| 2A+2M | 189c | 615b | 31a | 0.26b | 709b | 408c | 3.3c |
| 2A+1M | 179c | 606b | 29c | 0.28b | 645b | 451c | 3.5b |
| 2A+3M | 173d | 586b | 29c | 0.26b | 653b | 349d | 3.1d |
| 1A+1M | 119e | 421c | 28c | 0.30a | 391c | 317e | 3.8 ^a |
| 1A+2M | 113e | 410d | 27d | 0.29a | 383c | 300e | 3.6b |
| 1A+3M | 108e | 400d | 27d | 0.31a | 344c | 307e | 3.8 ^a |
| Media General | 181 | 617 | 29 | 0.28 | 669 | 416 | 3.4 |
| Tukey 5% | 21 | 174 | 1.1 | 0.065 | 466 | 170 | 0.19 |
| Prof. F: ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| <0.01 | | | | | | | |

A, Ayocote, M maíz; el número indica el número de plantas por mata; BT= Biomasa Total; IC= Índice de cosecha; RG= Rendimiento de grano; TG= Tamaño del grano (g); NG= Número de granos; NV= Número de vainas; GV= Granos por vaina; NPA=número de plantas de ayocote,; NPM= número de plantas de maíz. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P < .01

Por otra parte, para maíz los valores más altos de BT se lograron con 3M+1A, seguido por los tratamientos 3M+ 2A y 3M+3A (1662, 1510 y 1417 gm², respectivamente (Cuadro 3). Los valores más bajos fueron con el tratamiento 1M+3A que presentó 647 g m². Esta diferencia en BT entre tratamientos se puede atribuir a la capacidad del maíz para captar la energía solar (Escalante *et al.* 2006), puesto que al incrementar DP, se aumenta el índice de área foliar; con esto la cantidad de radiación interceptada y en consecuencia la producción de BT, así como la competencia por radiación y recursos generada por el número de plantas de maíz (Escalante *et al.*, 2006; Garduño *et al.*, 2009).

Cuadro 3. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano y sus componentes de maíz chalqueño cv azul, en asociación con frijol ayocote. Montecillo México. Verano-Otoño. 2014.

| Tratamiento | BT gm ² | IC% | RG gm ² | NGgm ² | TG (g) | GM |
|------------------------|--------------------|-------|--------------------|-------------------|--------|------------------|
| 3M+1A | 1662a | 30.5a | 508a | 1420a | 0.36a | 461 ^a |
| 3M+2A | 1510b | 33.2a | 501a | 1412a | 0.35a | 409b |
| 3M+3A | 1417c | 33.0a | 468a | 1464a | 0.32b | 365b |
| 2M+1A | 1115d | 30.2a | 337b | 938b | 0.36a | 470 ^a |
| 2M+2A | 1090d | 31.5a | 344b | 978b | 0.35a | 420 ^a |
| 2M+3A | 969e | 33.0a | 318b | 980b | 0.32b | 388b |
| 1M+1A | 758f | 30.5a | 232c | 653c | 0.35a | 475 ^a |
| 1M+2A | 693g | 33.1a | 230c | 657c | 0.35a | 408b |
| 1M+3A | 647g | 33.0a | 211c | 651c | 0.32b | 378b |
| Media General | 1095 | 31.95 | 350 | 1017 | 0.34 | 419 |
| Tukey 5% | 52 | 3.0 | 43 | 162 | 0.022 | 56 |
| Prof. F: ** <0.0001 | ** | ns | ** | ** | ** | ** |

A, ayocote, M maíz; el número indica el número de plantas; BT, Biomasa Total; IC, índice de cosecha; RG, rendimiento de grano; TG, tamaño del grano (g); NG, número de granos; GM, granos por mazorca; MG: Media General; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P <.01; indican efecto significativo.

Índice de cosecha (IC)

Para el IC de ayocote se encontraron diferencias significativas por efecto de los tratamientos. Esto indica que los cambios en el NPA y NPM afectaron la distribución de MS hacia el grano de ayocote (Cuadro 2). El tratamiento de 2A+2M mostró los valores más altos seguido por 3A+2M (31% y 30%, respectivamente). El IC promedio fue de 29 %. En estudios recientes indican que el rendimiento de grano y el índice de cosecha de frijol se redujeron significativamente cuando fueron sembrados simultáneamente con maíz, debido principalmente a la competencia por insumos generada por esta especie (Santalla *et al.*, 1999; Apáez *et al.* 2013). En cuanto al IC, en maíz Azul no hubo diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 3). Los cambios en el número de plantas de ayocote y maíz

no afectaron la acumulación de MS en las estructuras de las plantas ni la distribución hacia el grano. Lo anterior se puede atribuir a que el maíz es mucho más competitivo que el frijol, el cual desarrolla un dosel más amplio que el ayocote, logrando mayor captación de radiación y producción de fotoasimilados, generando mayor acumulación de MS, asimismo, los fotoasimilados y MS son exportados a los órganos de interés económico, en este caso a la formación y llenado de grano, coincidiendo con lo señalado por Vélez *et al.*, (2007), quienes evaluaron los efectos de competencia en el cultivo asociado maíz-frijol voluble trepador.

Rendimiento de grano y sus componentes

En ayocote el rendimiento de grano (RG), número de granos (NG) y número de vainas (NV) presentaron cambios significativos debido a tratamientos (Cuadro 2). Con 3A+1M y 3A+2M, se logró el RG de ayocote más alto con 258 y 250 gm², respectivamente (Cuadro 2). En NG y NV presentó tendencias similares. Los valores más bajos de RG, NG y NV se lograron con los tratamientos 1A+1M, 1A+2M y 1A+3M. En contraste, el tamaño de grano (TG) y granos por vaina (GV) no fueron afectados por los tratamientos (Cuadro 2). Esto significa que el aumento en RG fue producto de un aumento en NG y NV en los tratamientos donde se tuvo mayor NPA (Cuadro 2). Delgado *et al.* (2015) evaluaron el efecto de 4, 8 y 12 plantas m⁻² sobre el rendimiento y rentabilidad económica de frijol ejotero en espaldera de maíz. El rendimiento y número de ejotes más alto se encontró con 8 plantas m⁻² de frijol por mata, coincidiendo con lo reportado por Jiménez y Acosta (2013) quienes indican que para la variedad Pinto Saltillo de grano, la densidad recomendada es de 8 a 16 plantas m⁻¹ lineal. Osuna *et al.* (2012) quienes trabajaron con frijol Pinto en altas DP bajo temporal obtuvieron rendimientos altos con densidades de 145 y 260 mil plantas

ha⁻¹. Por otra parte, Alves *et al.* (2008), al aumentar la densidad de 100 mil a 500 mil plantas ha⁻¹ en cultivares de frijol bajo temporal, encontraron que el rendimiento de grano se incrementó de 1,962 kg ha⁻¹ a 3410 kg ha⁻¹; también reportan reducción en el número de granos por vaina y el número de vainas por planta al incrementar la densidad de plantas. Tsubo y Walker (2004), señalan que el maíz ejerce sobre el frijol de tipo arbustivo una fuerte competencia, que puede reducir hasta 67% la producción de BT y 40% la MS en la vaina. Ann y Francis (1985), al evaluar diferentes cultivares de frijol de hábito de crecimiento determinado e indeterminado asociados con maíz observaron reducciones de 25% y 8% en el número de nudos, 46 y 39% en el número de racimos, 53 y 44% en el número de vainas, respectivamente, con relación a sus unicultivos. En contraste, Tsubo *et al.* (2003) no encontraron reducciones significativas en BT y RG en cultivares de frijol de crecimiento indeterminado cuando fueron asociados con maíz con densidades de 2.2, 4.4, 6.7 y 12.5 plantas m², lo anterior debido al menor sombreado del maíz sobre los cultivares de frijol (Díaz *et al.*, 2010) quienes trabajaron con densidades de 6.2 y 12.4 plantas m² de frijol asociado con girasol.

En maíz, RG, NG y GM mostraron diferencias significativas por efecto de tratamientos (Cuadro 3). Con 3M+1A y 3M+2A, se logró el RG de maíz más alto con 508 gm² y 501 gm², respectivamente (Cuadro 3). NG y GM presentaron una tendencia similar. Esto se puede atribuir a que a mayor NPM y menor NPA se puede incrementar RG, NG, y GM del maíz. En contraste, TG no mostró cambios significativos por efecto del NPM. Esto indica que el maíz presenta una notable respuesta al aumento en la DP en términos de producción de BT como resultado de una mayor captura de luz por el cultivo. Jana *et al.* (2000) estudiaron la eficiencia de la asociación maíz-frijol común y encontraron un RG (25 g m⁻²) más bajo en la asociación que en unicultivo (76 g m⁻²), esto sugiere diferencias en el grado

de competencia de las especies utilizadas como espaldera. Por su parte, Galdámez *et al.* (2010) evaluaron la producción de BT y RG de maíz asociado con frijol, canavalia y calabaza, el mayor RG se logró con maíz en unicultivo (7.13 t ha^{-1}) seguido por la asociación maíz-frijol (6.70 t ha^{-1}) y el más bajo (3.57 t ha^{-1}) con el sistema maíz-calabaza-canavalia. En contraste, Morgado y Willey (2008) evaluaron el efecto de DP de plantas de maíz y frijol en cultivos intercalados, obtuvieron un RG en maíz de 6195 kg ha^{-1} con 40 000 plantas ha^{-1} de maíz y 4941 kg ha^{-1} con 60 000 plantas ha^{-1} de frijol. Asimismo, Mutungamiri *et al.* (2001) indican que en la asociación maíz-frijol, hay una reducción del 69% en el RG del maíz al bajar la DP de 37000 a 24000 plantas ha^{-1} , pero hay aumento del 37% en el RG de frijol.

En ayocote, RG presentó una alta relación con NG ($R^2=0.93^*$) y NV ($R^2=0.96^{**}$) (Cuadro 4). Esto sugiere que para lograr incrementos en RG en ayocote, se tiene que incrementar la DP la cual aumentará el tamaño del dosel y la producción de MS, proporcionando los fotosintatos necesarios para formar un mayor NV y NG (Escalante y Rodríguez, 2011). Por otra parte, el maíz presentó tendencias similares, RG mostró una alta relación con el NG ($R^2=0.98^{**}$), (Cuadro 5). Lo anterior indica, que el maíz al tener un dosel amplio puede captar mayor radiación solar y producir mayor cantidad de MS, la cual se destina al llenado de grano (Escalante *et al.*, 2015).

Cuadro 4. Correlación entre el rendimiento de grano con el número de granos (NG), número de vainas (NV), número de granos por vaina (GV) y tamaño de grano (TG)

| Componentes de rendimiento | Coefficiente de determinación de R ² | Probabilidad de F |
|----------------------------|---|-------------------|
| NG | 0.93 | ** |
| NV | 0.96 | ** |
| GV | 0.6 | NS |
| TG | 0.8 | NS |

NS= no significativo ($P \leq 0.05$); ** 0.01 ($P \leq 0.01$)

Cuadro 5. Correlación entre el rendimiento de grano de maíz con el número de granos (NG), tamaño de grano (TG) y granos por mazorca (GM)

| Componentes de rendimiento | Coefficiente de determinación de R ² | Probabilidad de F |
|----------------------------|---|-------------------|
| NG | 0.98 | ** |
| TG | 0.09 | NS |
| GM | 0.01 | NS |

NS= no significativo ($P \leq 0.05$); ** $P \leq 0.01$

Los resultados muestran que la reducción del rendimiento del maíz y del ayocote por el efecto de NPM y NPA se puede atribuir a los efectos de la competencia por radiación solar, agua y nutrientes del suelo, dando como resultado variación en la producción de MS, en la distribución de fotoasimilados para el llenado de grano; esto coincide con lo reportado por Vélez *et al.*, (2007) que mencionan que en la asociación maíz-frijol, el rendimiento de frijol disminuye más del 40%, y en maíz entre 10 y 21 %. Dicha disminución en frijol, posiblemente se deba al sombreado ejercido por el maíz (Delgado *et al.*, 2015).

Biomasa y rendimiento en grano y rentabilidad de la asociación ayocote-maíz.

En el cuadro 6 se muestra el análisis económico del cultivo de ayocote, el tratamiento con mayor tasa de retorno (TR) fue de 3 plantas de ayocote con 3 de maíz (\$4.22), la tasa de retorno más baja fue de una planta de ayocote con tres plantas de maíz (\$1.77). El análisis

económico del cultivo de maíz se muestra en el cuadro 7, el tratamiento con mayor TR fue con 3 plantas de maíz con 1 planta de ayocote (\$5.66), el tratamiento con menor TR fue 1 plantas planta de maíz con 1 planta de ayocote (\$0.84), Lo anterior se puede atribuir a que el incremento del número de plantas de maíz genera mayor competencia interespecifica con las plantas de ayocote, disminuyendo RG. Asimismo, los tratamientos con mayor número de plantas de ayocote pueden desarrollar mayor cobertura del dosel que le permite captar mayor radiación solar, generando MS que se destina a la formación de vainas y al llenado de grano (Escalante y Rodríguez, 2011).

Cuadro 6. Análisis económico del cultivo de ayocote asociado con maíz chalqueño cv azul. Montecillo México. Verano 2014.

| Tratamiento. | BT gm ² | RG gm ² | IT | CF | CV | CT | IN (\$) | TR (\$) |
|--------------|-----------------------|--------------------|-------|------|-------|-------|---------|---------|
| 1A+1M | 119 | 421 | 29750 | 5000 | 2127 | 7127 | 22623 | 3.17 |
| 1A+2M | 113 | 410 | 28250 | 5000 | 4115 | 9115 | 19135 | 2.09 |
| 1A+3M | 108 | 400 | 27000 | 5000 | 4725 | 9725 | 17275 | 1.77 |
| 2A+1M | 179 | 609 | 44750 | 5000 | 5761 | 10761 | 33989 | 3.15 |
| 2A+2M | 189 | 615 | 47250 | 5000 | 7072 | 12072 | 35178 | 2.91 |
| 2A+3M | 173 | 586 | 43250 | 5000 | 8979 | 13979 | 29271 | 2.09 |
| 3A+1M | 258 | 860 | 64500 | 5000 | 7334 | 12334 | 52166 | 4.22 |
| 3A+2M | 250 | 836 | 62500 | 5000 | 9091 | 14091 | 48409 | 3.43 |
| 3A+3M | 236 | 814 | 59000 | 5000 | 10651 | 15651 | 43349 | 2.76 |

A, ayocote, M maíz; el número indica el número de plantas; BT, Biomasa Total; Rendimiento (RG), Ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV), costos totales (CT), ingresos netos (IN) y tasa de retorno (TR); (IT) Rendimiento por el costo de kg de frijol ayocote (\$25.00), (CF) Incluye costos de preparación del terreno, manejo de cultivo, manejo de maleza (mano de obra), manejo de plagas y enfermedades, transporte, cosecha; (CV) Precio y cantidad de semilla y fertilizante;(CT) Costo fijo + Costo variable; (IN\$) Ingreso Total – Costo Total; (TR(\$)) Tasa de Retorno.

Cuadro7. Análisis económico del cultivo de maíz chalqueño cv azul en asociación con ayocote. Montecillo México. Verano 2014.

| Tratamiento | BT gm ² | RG gm ² | IT | CF | CV | CT | IN (\$) | TR (\$) |
|-------------|-----------------------|--------------------|-------|------|-------|-------|---------|---------|
| 3M+3A | 1417 | 4680 | 28080 | 5000 | 10651 | 15651 | 12429 | 1.25 |
| 2M+3A | 1510 | 5010 | 30060 | 5000 | 9091 | 14091 | 15969 | 0.88 |
| 1M+3A | 1662 | 5080 | 30480 | 5000 | 7334 | 12334 | 16501 | 0.84 |
| 3M+2A | 969 | 3180 | 19080 | 5000 | 8979 | 13979 | 6746 | 1.82 |
| 2M+2A | 1090 | 3440 | 20640 | 5000 | 7072 | 12072 | 8568 | 1.40 |
| 1M+2A | 1115 | 3370 | 20220 | 5000 | 5761 | 10761 | 8495 | 1.38 |
| 3M+1A | 647 | 2110 | 12660 | 5000 | 4725 | 9725 | 1899 | 5.66 |
| 2M+1A | 693 | 2300 | 13800 | 5000 | 4115 | 9115 | 4685 | 1.94 |
| 1M+1A | 758 | 2320 | 13920 | 5000 | 2127 | 7127 | 6793 | 1.04 |

A, ayocote, M maíz; el número indica el número de plantas; BT, Biomasa Total; Rendimiento (RG), Ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV), costos totales (CT), ingresos netos (IN) y tasa de retorno (TR); (IT) Rendimiento por el costo de kg de grano de maíz (\$6.00), (CF) Incluye costos de preparación del terreno, manejo de cultivo, manejo de maleza (mano de obra), manejo de plagas y enfermedades, transporte, cosecha; (CV) Precio y cantidad de semilla y fertilizante;(CT) Costo fijo + Costo variable; (IN\$) Ingreso Total – Costo Total; (TR(\$)) Tasa de Retorno

BT y RG del agrosistema ayocote-maíz mostró cambios significativos por el efecto del NPA y NPM por mata (Cuadro 8). Por otra parte en la asociación de ayocote con maíz azul, los tratamientos con mayor tasa de retorno (TR) fueron 3A+1M (\$6.38), seguido por 2A+1M (\$5.93), el tratamiento 1A+3M tuvo el TR más bajo (\$1.12) (Cuadro 4).

Cuadro 8. Análisis económico de la interacción de ayocote asociado con maíz chalqueño cv azul. Montecillo México. Verano 2014.

| Tratamiento | RG gm ² | IT | CF | CV | CT | IN (\$) | TR (\$) |
|-------------|--------------------|-------|------|------|-------|---------|---------|
| 3A+3M | 704 | 17600 | 5000 | 8840 | 11840 | 5760 | 2.05ef |
| 2A+3M | 675 | 16875 | 5000 | 5250 | 9750 | 7125 | 1.36g |
| 1A+3M | 616 | 15400 | 5000 | 2425 | 8150 | 7250 | 1.12g |
| 3A+2M | 568 | 14200 | 5000 | 8470 | 11470 | 2730 | 4.20c |
| 2A+2M | 533 | 13325 | 5000 | 4850 | 9150 | 4175 | 2.19e |
| 3A+1M | 469 | 11725 | 5000 | 6137 | 10137 | 1588 | 6.38a |
| 1A+2M | 451 | 11275 | 5000 | 1775 | 6775 | 4500 | 1.50f |
| 2A+1M | 409 | 10225 | 5000 | 3250 | 8750 | 1475 | 5.93b |
| 1A+1M | 351 | 8775 | 5000 | 1520 | 6520 | 2255 | 2.89d |

A, ayocote, M maíz; el número indica el número de plantas; BT, Biomasa Total; Rendimiento (RG), Ingresos totales (IT), costos fijos (CF), costos variables (CV), costos totales (CT), ingresos netos (IN) y tasa de retorno (TR); (IT) Rendimiento por el costo de kg de frijol ayocote (\$25.00), grano de maíz (\$6.00), (CF) Incluye costos de preparación del terreno, manejo de cultivo, manejo de maleza (mano de obra), manejo de plagas y enfermedades, transporte, cosecha; (CV) Precio y cantidad de semilla y fertilizante; (CT) Costo fijo + Costo variable; (IN\$) Ingreso Total – Costo Total; (TR(\$)) Tasa de Retorno

Estos resultados indican que al incrementar la DP se puede obtener mayor BT y RG en el agrosistema ayocote–maíz, coincidiendo con Yilmaz *et al.* (2008), que trabajaron las ventajas de la asociación maíz-frijol, dichos autores mencionan que se obtiene un mayor IN cuando se siembran altas DP. Sin embargo, la asociación de 3A+1M permite mejor expresión de las plantas de ayocote en la producción de BT y de RG, esto al tener menor competencia con el maíz por insumos (agua, radiación solar y nutrimentos), lo cual permite mayor IN, en contraste, con los tratamientos de altas DP, las cuales presentan mayor competencia por dichos insumos y en consecuencia la reducción del rendimiento (Tsubo *et al.*, 2003).

CONCLUSIONES

En el agrosistema ayocote-maíz, la producción de biomasa, rendimiento de grano y sus componentes, son afectados por el número de plantas de ayocote y de maíz por mata. La combinación para lograr el mayor rendimiento en grano, producción de biomasa e ingreso neto se logró con tres plantas de ayocote y una de maíz. Tanto biomasa y rendimiento de las especies agrícolas involucradas en la asociación ayocote-maíz, son afectados por los cambios en densidad de población por mata. La mayor tasa de retorno por peso invertido en la asociación se logra con la combinación de tres plantas de ayocote con una de maíz

LITERATURA CITADA

Alves, A. F., M. J., B. Andrade; N. M. B. Vieira, P. M. Rezende. 2008. Grain yield of four new cultivars based on plant density. Annual Report of the Bean Improvement Cooperative, 51:242-243.

Ann C.E, C..A. Francis. 1985. Bean - maize intercrops: A comparison of bush and climbing bean growth habits. Field Crops Res. 1: 319-335.

Apáez B. P., E. J.A.S. Escalante-Estrada, M.T. Rodríguez-Gutiérrez. 2013. Producción de vaina verde en frijol chino y tipo de espaldera en clima cálido. Revista Chapingo Serie Horticultura 19(1): 129-140

Ayala-Garay O. J., J.M., Pichardo-González, J. A. Estrada-Gómez, J. A. Carrillo-Salazar, A. Hernández-Livera. 2006. Rendimiento y calidad de semilla de frijol ayocote en el Valle de México. Agric. Téc. Méx. 32:313-321.

Basurto P., F., C. Martínez, V. Castellanos, M. A Martínez. 1996. Ciclo agrícola y fenología de *Phaseolus coccineus* L. en sistemas de agricultura tradicional en la Sierra Norte de Puebla, México. Etnoecológica 3:71-81.

Barrios-Gómez, E. J., C. López-Castañeda, J. Kohashi-Shibata, J. A. Acosta-Gallegos, S. Miranda-Colín, N. Mayek-Pérez. 2010. Rendimiento de semilla, y sus componentes en frijol flor de mayo en el Centro de México. Agrociencia 44: 481-489.

Barrios-Gómez, E. J., C. López-Castañeda, J. A. Acosta-Gallegos, S. Miranda-Colín, J. Canul-Ku. 2011. Efecto del estrés hídrico en el crecimiento y desarrollo de frijol. Investigación Agropecuaria. 8(1): 1-15.

Delgado M.R., J.A.S. Escalante-Estrada, R. Díaz., S. A. Trinidad, E. J. Morales y M.E. Sosa. 2014. Defoliación en maíz y su efecto sobre el rendimiento de frijol-maíz en asociación. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5(6): 1015-1027

Delgado M.R., J.A.S. Escalante-Estrada, E. J. Morales, J.A. López, R.M. Rocandio. 2015. Producción y rentabilidad del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) asociado a maíz en función de la densidad y el nitrógeno en clima templado. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. UNCUYO. 47(2): 15-25.

Díaz, López E., J.A.S. Escalante-Estrada, M.T. Rodríguez-González, A. Gaytán. 2010. Producción de frijol ejotero en función del tipo de espaldera. Revista Chapingo Serie Horticultura. 16: 215-221.

Escalante-Estrada, J. A. S. 2001. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y nitrógeno en girasol de humedad residual. Terra 19: 19-27.

Escalante-Escalante. J. A. S., M. T. Rodríguez-González. 2006. Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Yield in relation to growth habit, plant density and nitrogen fertilization. Annual Report of Bean Improvement Cooperative, 49: 253-254.

Escalante-Estrada J.A.S. y M.T. Rodríguez-González. 2010. Biomasa, índice de cosecha y componentes de rendimiento en frijol y nitrógeno. Revista Ciencias Agrícolas Informa. 19 (1): 5-11.

Escalante-Estrada J.A.S. y M.T. Rodríguez-González. 2011. Biomasa y rendimiento de haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. Ciencias Agrícolas Informa 20:16-25.

Escalante-Estrada J.A.S., M.T. Rodríguez-González, Y.I. Escalante-Estrada. 2013. Aplicación dividida de nitrógeno, su efecto sobre la eficiencia agronómica, rendimiento y componentes en frijol. Ciencia y Tecnol. Agrop. México 1:52-55.

Escalante-Estrada J.A.S.; M.T. Rodríguez-González, Y.I. Escalante-Estrada. 2014. Tasa de crecimiento de biomasa y rendimiento de frijol en función del nitrógeno. Ciencia y Tecnol. Agrop. México 2(1):1-8.

Escalante-Estrada J.A.S., M.T. Rodríguez-González, Y.I. Escalante-Estrada. 2015. Acumulación y distribución de materia seca en cultivares de maíz asociados con frijol en clima templado, Revista mexicana de Ciencias Agrícolas, 12: 139-143

Escalante-Estrada J. A. S. y J. Kohashi-Shibata. 2015. El rendimiento y crecimiento del frijol. Un manual para toma de datos. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Texcoco, México. 84 p.

Fageria, N. K., V. C. Baligar, A. Moreira, T. A. Portes. 2010. Dry bean genotypes evaluation for growth, yield components and phosphorus use efficiency. J. Plant Nutr. 33: 2167-2181.

Galdámez-Galdámez J., C.E. Aguilar-Jiménez, A. Gutiérrez-Martínez, J.A. Morales-Cabrera, S. Mendoza-Pérez, F. Martínez-Aguilar. 2010. Maíz asociado con frijol, canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) y calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) en Villaflores, Chiapas. Quehacer Científico en Chiapas 1(10):18-29.

García, E. L. 2005. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4a (Ed.). Universidad Autónoma de México (UNAM). D. F., México. 217 p.

Garduño G. J., Morales R.E.J., Guadarrama V. S., Escalante J.A.S. 2009 Biomasa y rendimiento de frijol con potencial ejotero en unicultivo y asociado con girasol. Revista Chapingo Serie Horticultura 15(1): 33-39.

Hanway, J. J. 1963. Growth stages of corn (*Zea mays* L.). Agron. J. 55:487-492.

Jana, A. C., P.B. Krarup, R. P. Fuentes. 2000. Eficiencia de la asociación maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*). *Agro sur*. 28: 71- 80.

Jiménez G. J. y G. J. Acosta. 2013. Efecto de la densidad a simple y doble hiera en el rendimiento de frijol de temporal en Chihuahua. México. *Rev.Méx. Cienc. Agri*. 4(3):393-407.

Martínez G. M. A., C. Jasso, S. E. Osuna, J.A. Acosta. 2011. Efecto del arreglo topológico en el rendimiento de frijol de temporal en el altiplano de San Luis Potosí. VI Reunión Nacional de Innovación Agrícola. León Guanajuato.

Masaya, P. and J. W. White. 1991. Adaptation to photoperiod and temperature. In: vanShoonhonen, A. and Voyssest O. (eds.). *Common beans: Research for crop improvement*. C. A. B. Intl. U. K. and CIAT, Cali, Colombia. pp. 445-500.

Morgado L. B., R.W. Willey. 2008. Optimum plant population for maize-bean intercropping system in the Brazilian semi-arid región. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)* 65 (5): 474-480.

Mutungamiri A., I.K. Mariga, O.A. Chivinge. 2001. Effect of maize density, bean cultivar and bean spatial arrangement on intercrop performance. *African CropScience Journal* 9,487-497.

Osuna, C. E. S., L. Reyes M., M.A. Martínez G., J.S. Padilla. 2012. Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3 (7): 1389-1400.

Ritchie, J. T. and D.S. NeSmith. 1991. Temperature and crop development. In: Hanks, J. and Ritchie, J. T. (Ed.). *Modeling plant and soil systems*. Agron. Monogr. 31. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. 5-29 pp.

Rojas-Victoria N.J., J.A.S. Escalante-Estrada, M.T. Rodríguez-González. 2015. Biomass and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) in association with maize. *Ann. Rep. Bean. Improv. Coop.* 58,129-130.

Salinas, R. N., J.A.S. Escalante-Estrada, M.T. Rodríguez-González y E. Sosa. 2008. Rendimiento y calidad nutrimental de frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) en fechas de siembra. *Rev. Fitotec. Mex.* 31:235-241.

Santalla M, P.A. Casquero, A.M. de Ron. 1999. Yield and yield components from intercropping bush vean cultivars with maize. *J. Agron. Crop Sci.* 183: 263-269.

Tsubo M., E. Mukhala, H.O. Ogindo, S. Walker. 2003. Productivity of maize-bean intercropping in semi-arid region of South Africa. *Water* 29 (4): 381-388.

Tsubo, M. and Walker, S. 2004. Shade Effects on *Phaseolus vulgaris* L. Intercropped with *Zea mays* L. under well-watered conditions. *J. Agron. Crop Sci.* 190:168-176.

Vélez, V. L. D., P.J. Clavijo, G.D. Ligarreto. 2007. Análisis ecofisiológico del cultivo asociado maíz (*Zea mays* L.) – fríjol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 60(2):3965-3984.

Volke, H.V. 1982. Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Ed. Colegio de Postgraduados. Centro de Edafología. México. 61 p.

Yilmaz, S., A. Mehmet, E. Mustafa. 2008. Identification of advantages of maize-legume intercropping over solitary cropping through competition indices in east mediterranean region. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 32: 111-119.

CAPITULO IV
ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE AYOCOTE EN
ESPALDERA DE MAÍZ CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA

ANÁLISIS DE CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE GRANO AYOCOTE EN ESPALDERA DE MAÍZ CON FERTILIZACIÓN NITROGENADA

RESUMEN

El ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa originaria de las zonas templadas del territorio mexicano, presenta un crecimiento de tipo trepador, cuyo grano es importante en la alimentación, por lo general se siembra utilizando como tutor al maíz. Por otra parte, para incrementar el rendimiento de grano se ha recurrido a prácticas agrícolas como la fertilización, la cual se considera de importancia para incrementar el rendimiento de grano. La aplicación de nitrógeno (N) contribuye al crecimiento del dosel vegetal que se refleja en la parte reproductiva (vainas y granos). El objetivo del presente estudio fue determinar la producción de biomasa y rendimiento de grano de ayocote en espaldera de maíz en función de la aplicación de N; así como evaluar el índice y duración del área foliar, la tasa de crecimiento del cultivo y tasa asimilación neta, distribución y producción de materia seca. El estudio se realizó en el Colegio de Postgraduados, Montecillo, se utilizó un cultivar de Ayocote de grano color violeta y como tutor el cultivar de maíz Azul criollo con una densidad de 5 plantas m⁻². Se aplicó niveles de nitrógeno de 0 (N0), 75 (N75) y 150 (N150) kg de N ha⁻¹. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. Se registró la temperatura máxima y mínima, precipitación; etapas fenológicas del ayocote (emergencia, floración y madurez fisiológica), el número de hojas verdes, el índice y duración del área foliar, la tasa de crecimiento de cultivo y la tasa media de asimilación neta. Se aplicó un análisis de varianza y prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Las fases fenológicas ocurrieron a los 14 (E), 73 (R6) y 129 (R9) días después de la siembra (dds), la temperatura promedio fue de 28°C, la precipitación fue de 482 mm. Con N150 se tuvieron los valores

más altos de BT y RG (2124 y 806 g m²), asimismo, para NHV (314 m²), IAF (1.31) y DAFT (48 días), así como en la TCC (2.5 g m⁻² día⁻¹) y la TAN (0.089 g m⁻² d⁻¹), BT (514 g m²) y los órganos con mayor acumulación de MS fueron tallo (32 %), hojas (30%) y grano (28%). La aplicación de nitrógeno en ayocote sembrado en espaldera de maíz, incremento el número de hojas, así como el índice y duración del área foliar, produciendo mayor materia seca aumentando rendimiento de grano, acumulación de materia seca en cada estructura de la planta y en consecuencia biomasa total, pero no afecta la distribución en las diferentes estructuras.

Palabras clave: Biomasa total, rendimiento de grano, fertilización nitrogenada.

ANALYSIS OF GROWTH AND PRODUCTION OF AYOCOTE IN CORNER LEVEL WITH NITROGEN FERTILIZATION

SUMMARY

The ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) is a leguminous native of the temperate zones of the Mexican territory, displays a growth of climber type, whose grain is important for human nutrition, usually is sown using as tutor maize. To increase the yield of grain has been resorted to agricultural practices like fertilization, which is considered of importance to increase grain yield. The application of nitrogen (N) contributes to the growth of the vegetal canopy that is reflected in the reproductive part (pods and grains). The objective of the present study was to determine biomass, yield and grain yield of ayocote in maize trellis, as a function of the application of N; As well as to evaluate the index and duration of the leaf area, the rate of growth of net assimilation, the distribution and production of dry matter. The study was conducted at out in the College of Postgraduates, Montecillo, a cultivar of Ayocote of violet grain and as tutor the cultivar of Blue maize landrace with a density of 5 plants m⁻². Nitrogen levels of 0 (NO), 75 (N75) and 150 (N150) kg of N ha⁻¹ were applied. The experimental design was randomized blocks with four replicates. The maximum and minimum temperature, precipitation; ayocote phenology stages (emergence, flowering and physiological maturity), number of green leaves (NGL), index and duration of leaf area (LAI, TLAD), crop growth rate (GCR) and net assimilation rate (NAR). An analysis of variance and means Tukey test $\alpha = 0.05$ was applied. The phenological phases occurred at 14 (E), 73 (R6) and 129 (R9) days after sowing (dds), the average temperature was 28 ° C, precipitation was 482 mm. N150 had the highest values of TB and GY (2124 and 806 g m⁻²), as well as for NGL (314 m⁻²), LAI (1.31) and TLAD (48 days), as well as in GRC (2.5 g m (32%), leaves (30%), and grain (32%), and the most out standers DM

constituents were stalk (32%), leaf (30%) and grain (28%). The application of nitrogen in ayocote planted with maize trellis increased the number of leaves, as well as the index and duration of leaf area, producing greater dry matter, increasing grain yield, accumulation of dry matter in each plant structure and Consequently the total biomass, but does not affect the distribution in the different structures.

Key words: Grain yield, Total biomass, nitrogen fertilization.

INTRODUCCIÓN

La práctica del sistema de asociación de cultivos aumenta el rendimiento por unidad de superficie (Delgado *et al.*, 2014). Cultivos como frijol y maíz coexisten bajo este agrosistema de asociación aunque en menor escala, en dicho sistema se hace un mejor uso del suelo, agua, luz y nutrimentos, tanto en tiempo como en espacio (Díaz *et al.*, 2010; Escalante *et al.*, 2015). El ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa originaria de las zonas templadas del territorio mexicano, con gran potencial de uso y aprovechamiento con fines alimenticios para la población humana, mediante el consumo principalmente de su semillas (Ayala *et al.*, 2006, Díaz y Escalante, 2011; Rojas *et al.*, 2015). Una alternativa para el uso de cultivares de ayocote que presentan hábito de crecimiento trepador, es sembrarlos en asociación con maíz que realiza la función de espaldera viva (Apáez *et al.*, 2011; Escalante *et al.*, 2015; Rojas *et al.*, 2015). Por otra parte, para incrementar el rendimiento de grano se ha recurrido a prácticas agrícolas como la fertilización, la cual se considera de importancia para incrementar el rendimiento de grano (Escalante *et al.*, 2015). La aplicación de nitrógeno (N) contribuye en gran medida al crecimiento de la parte vegetativa (hojas y tallo), que se refleja en la parte reproductiva (vainas y granos) (Fageria *et al.*, 2010). Diversos estudios en leguminosas muestran que hay un incremento con la aplicación de N al suelo, por aumento en número de granos y vainas (Escalante *et al.*, 2006), además de una mayor acumulación de N y contenido de proteína en el grano (Escalante *et al.*, 2013). Asimismo, Escalante y Rodríguez (2011) mencionan que con N se puede lograr un establecimiento rápido del área foliar, mayor cobertura del suelo, intercepción de la radiación y en consecuencia, mayor producción de materia seca (MS) o biomasa (BT) (que representa la fotosíntesis neta), que incrementa el rendimiento del cultivo.

Por otra parte, para comprender las causas fisiológicas que determinan el rendimiento de grano por el efecto de la fertilización, se recurre a los análisis de crecimiento, los cuales permiten cuantificar aspectos como la velocidad de crecimiento de el cultivo, la duración del ciclo de cultivo, la eficiencia en la producción de MS del dosel, la velocidad de producción de MS en cada fase fenológica del cultivo y distribución en cada órgano de la planta. Para ello se usan índices, como la tasa de asimilación neta (TAN) que indica la eficiencia fotosintética, al medir la ganancia neta de asimilados por unidad de área foliar y tiempo, la tasa de crecimiento de cultivo (TCC), considerado un índice de la productividad agrícola, mide la ganancia en peso de un cultivo por unidad de área de suelo, y por unidad de tiempo. En cuanto al tiempo que el follaje persiste, se tiene la duración del área foliar (DAF) como índice que representa la producción de hojas en el periodo de crecimiento de cultivos (Santos *et al.*, 2010; Aguilar *et al.*, 2015). Por lo anterior, los objetivos de presente estudio fueron: a) determinar la producción de biomasa y rendimiento de grano del ayocote en espaldera de maíz, en función de la aplicación de N; b) evaluar el índice y duración del área foliar (IAF y DAF), tasa de crecimiento del cultivo (TCC) y la tasa de asimilación neta (TAN), la producción y distribución de materia seca, c) determinar la eficiencia en el uso del agua, eficiencia agronómica y análisis económico de la fertilización nitrogenada en ayocote asociado con maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México (19° 28' N, 98° 53' O, a 2250 m de altitud), bajo condiciones de lluvia estacional, con clima Cw que corresponde al menos seco de los áridos con régimen de lluvias en verano (García, 2005), temperatura media anual de 15.4 °C y precipitación media anual de 512 mm; con periodo libre de heladas de 170 días, el suelo es de textura arcillo-limosa, con pH de 7.6, conductividad eléctrica de 1.9 dSm⁻¹, contenido de materia orgánica de 3.5% y N total de 4 %, con un contenido de N inorgánico en el suelo de 11.9 (mg Kg⁻¹). El material biológico fue un cultivar de Ayocote de grano color violeta, de habito de crecimiento indeterminado trepador (Tipo IV) procedente de Tlaxcala y como tutor el cultivar de maíz Azul criollo raza chalqueño. La siembra de 2 plantas de Ayocote y 2 de maíz por mata a 0.30 m entre matas y 0.80 m entre hileras generó una densidad de 5 plantas m⁻², la siembra se realizó el 5 de mayo de 2014. Los tratamientos de nitrógeno fueron: 0 (NO), 75 (N75) y 150 (N150) kg de N ha⁻¹. La unidad experimental consistió de cuatro surcos de 5 m de longitud, tomando en cuenta los dos surcos centrales como parcela útil. El diseño experimental fue bloques al azar con cuatro repeticiones. Durante el desarrollo del cultivo se registró la temperatura (°C) máxima (T_{máx}) y mínima (T_{mín}), promedio decenal, la suma de la precipitación (PP); además los días a ocurrencia de las fases fenológicas para ayocote como: emergencia (E), floración (R6) y madurez fisiológica (R9) bajo los criterios presentados por Escalante y Kohashi (2015). Durante el ciclo de cultivo, se hicieron muestreos destructivos de dos plantas dentro de la parcela útil de cada tratamiento a los 30, 60, 90 y 120 días después de la siembra (dds), a las cuales se contó el número de hojas verdes por m² (NHV), con el software libre ImageJ (Versión 1.45, 2013) (Rasband, 2007; Rincón *et al.*, 2012; Thomas *et al.*, 2013) se midió el área foliar (sin

incluir peciolos) para el ayocote, índice de área foliar (IAF), la duración del área foliar total (DAFT) a partir de las siguientes relaciones: $IAF = (AF/NP) * DP / 10000 \text{ cm}^2$, donde AF = área foliar (dm^2), NP = número de plantas muestreadas y DP = número de plantas por m^2 . Para la duración de área foliar total $DAFT = \Sigma (IAF_1 + IAF_2) (T_2 - T_1) / 2$, donde: Σ = suma de la duración del área foliar de cada uno de los muestreos realizados, IAF_1 = índice de área foliar en un tiempo del área foliar inicial; IAF_2 = índice de área foliar en un tiempo final; T_1 = tiempo uno, en días y T_2 = tiempo dos, en días. También se calculó la tasa media de crecimiento de cultivo (TCC) y la tasa media de asimilación neta (TAN), mediante las ecuaciones siguientes: $TCC = [(PS_2 - PS_1) / A (T_2 - T_1)]$, donde PS_2 y PS_1 representan el peso seco de la planta en los tiempos T_2 y T_1 , respectivamente; A representa el área ocupada por el cultivo; $TAN = [(PS_2 - PS_1) / (AF_2 - AF_1)] / [\ln AF_2 - \ln AF_1] / (T_2 - T_1)$, donde: PS_1 y PS_2 representan el peso de la materia seca del cultivo, $\ln AF_2$ y $\ln AF_1$ al logaritmo natural del área foliar en el tiempo T_2 y T_1 , respectivamente (Escalante y Kohashi, 2015). A la cosecha de Ayocote se registró rendimiento de grano (RG, g m^{-2}), biomasa (MS total; g m^{-2} , BT); índice de cosecha (IC) con la relación $IC = RG/BT$. Así como la acumulación y distribución de biomasa en las estructuras de la planta. La eficiencia en el uso del agua para BT (EUA $\text{g m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$) se calculó con la ecuación: $EUA = RG/ET_c$ (Escalante, 1995).

La eficiencia agroonómica del N (EAN, kg kg^{-1} de N aplicado), que es el incremento en el rendimiento por unidad de nutrimento aplicado, se estimó con la ecuación: $EA = (RGF - RGT) / F$, donde: RGF = rendimiento de grano del cultivo fertilizado; RGT = rendimiento de grano del cultivo testigo y F = cantidad del nutrimento aplicado (Fageria y Baligar, 2005). Se aplicó un análisis económico a las variables RG de ayocote y maíz para determinar el ingreso neto, con la ecuación: $IN = YPy - (\Sigma XiPi + CF)$, donde IN = ingreso neto, Y = rendimiento (kg ha^{-1}), Py = precio por kilogramo de grano, $\Sigma XiPi$ = suma de

costos variables, CF = costos fijo (Volke, 1982). A las variables en estudio se les aplico un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey $\alpha=0.05$ con el paquete estadístico SAS versión 9.2 (SAS, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSION

Fenología y elementos del clima

Los días de la ocurrencia de las fases fenológicas fueron similares entre los tratamientos. Las fases de ayocote E (emergencia), R6 (floración) y R9 (madurez fisiológica) ocurrieron a los 14, 73 y 129 días después de la siembra (dds), respectivamente. La precipitación (PP) estacional durante el desarrollo del cultivo fue de 482 mm, de la cual el 56 % ocurrió en la etapa vegetativa y el 44 % en la etapa reproductiva (Figura 1). Resultados similares en la ocurrencia de las fases fenológicas fueron reportados por Delgado *et al.*, (2014), Apáez *et al.*, (2011), quienes trabajaron con frijol ejotero en asociación con maíz para la región de Texcoco, México. Dichos autores reportan que la E ocurre entre 7 a 11 dds, R6 70 a 95 dds, R9 de 134 a 150 dds. La temperatura máxima y mínima durante el ciclo de cultivo fueron 36°C y 5°C, respectivamente, durante la etapa vegetativa la T_{máx} y T_{mín} fueron 34°C y 16°C, respectivamente, y en la etapa reproductiva 28°C y 5°C fueron a T_{máx} y T_{min}, respectivamente. Lo anterior coincide con lo reportado por Delgado *et al.* (2014) y Apáez *et al.* (2011) para la región de Texcoco, México. Distintos autores indican que el rango de temperatura para el desarrollo de *Phaseoulis vulgaris* es de 10°C a 30°C siendo el rango óptimo entre 16°C y 24°C (Barrios-Gómez *et al.* 2010; Apáez, *et al.*, 2011; Delgado *et al.*, 2014), lo anterior coincide con las temperaturas registradas en el presente trabajo.

La precipitación para ambos cultivos durante las primeras etapas fenológicas aportó a desarrollar un dosel vegetal; sin embargo, en la etapa reproductiva presentó un periodo de déficit hídrico elevando la evaporación del cultivo, lo cual pudo afectar el llenado de grano, y en consecuencia afectar el rendimiento de ambos cultivos en asociación (Escalante *et al.* 2015, Barrios-Gómez *et al.*, 2011).

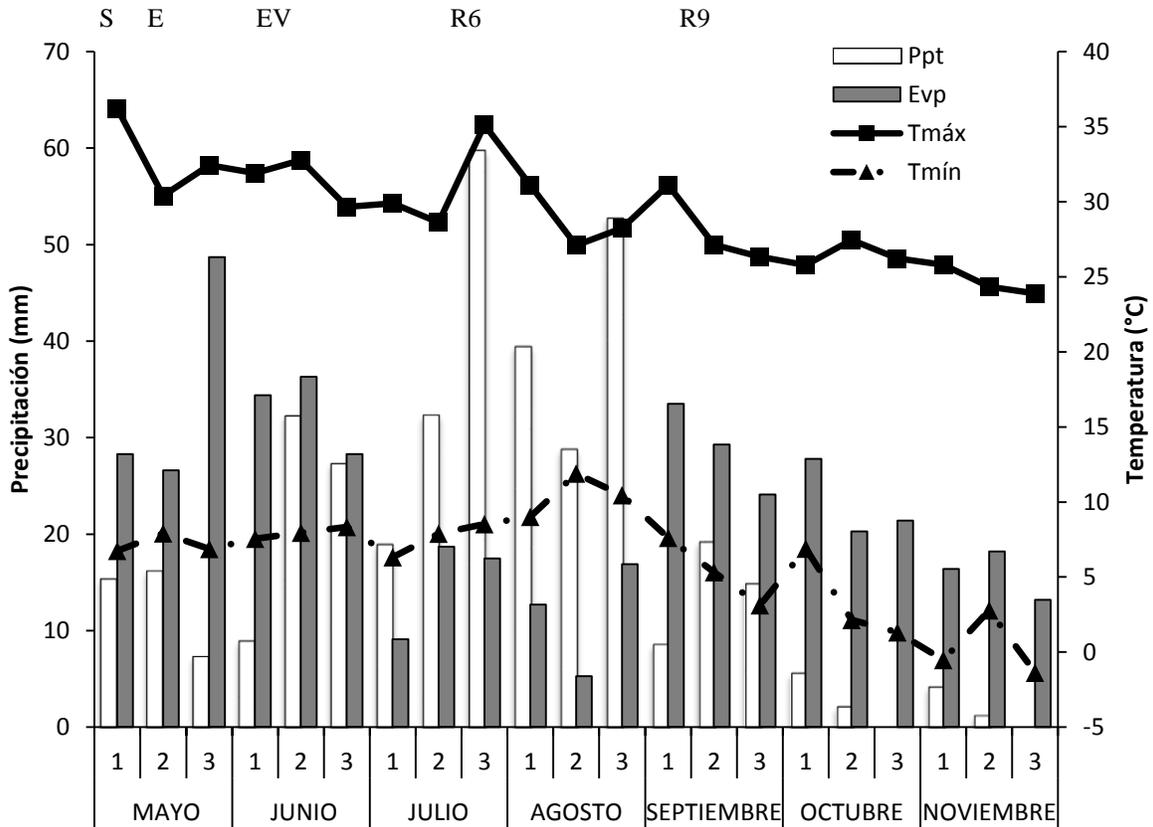


Figura 1. Distribución de la temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de Ayocote. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. Ciclo 2014. E=Emergencia, Ev=Etapa vegetativa, R6= Floración y R9 = Madurez fisiológica. Evp= evaporación.

Rendimiento de grano y sus componentes

Durante el ciclo de cultivo del ayocote, se registraron cambios significativos por el efecto de la fertilización nitrogenada en la BT, RG y sus componentes, así como el IC (Cuadro 1). Con la aplicación de 75 y 150 kg N ha⁻¹ se logró incrementar los valores RG y BT en 10 y 12 % en ambas variables con respecto al testigo. EL NG y NV mostró incrementos de 10 y 17%, respectivamente, en relación al testigo.

Cuadro 1. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano de ayocote (*P. coccineus* L.), en espaldera con maíz, en función de fertilización nitrogenada. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014.

| N Kg ha ⁻¹ | BT g m ² | RG g m ² | IC % | NV | GV | PCG g | NG m ² |
|--------------------------|---------------------|---------------------|------|------|------|-------|-------------------|
| N 150 | 2124a | 806a | 37b | 448a | 3.2a | 48a | 1457a |
| N 75 | 2076b | 781b | 37b | 426b | 3.0a | 47a | 1279b |
| N 0 | 1875c | 734c | 39a | 402c | 3.0a | 45a | 1208b |
| MG | 2025 | 774 | 39 | 190 | 3.0 | 47 | 1315 |
| Tukey 5% | 29 | 17 | 4.5 | 21 | 0.3 | 3.5 | 197 |
| Prof.F:**<0.01 | ** | ** | ** | ** | -- | -- | ** |

Niveles de fertilización N0: 0 kg ha⁻¹, N75: 75 kg ha⁻¹, N150: 150 kg ha⁻¹; BT: Biomasa Total; RG: rendimiento de grano (g m²); IC, índice de cosecha; NV: número de vainas; GV: granos por vaina; PCG: peso de cien granos (g); NG, número de granos; MG: Media General; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P < .01; indican efecto significativo.

Con la aplicación de N150 se logró la mayor producción de BT y RG, seguido de N75, la aplicación de los niveles de fertilización incrementó la acumulación de BT y RG (12 y 10 %, respectivamente), en relación al testigo (N0). La respuesta en la BT con la aplicación de niveles de fertilización de N se puede atribuir a que dicho fertilizante estimula el tamaño del dosel vegetal, lo cual aumenta la intercepción de radiación solar y fotosíntesis, asimismo resulta en mayor acumulación de materia seca (Abayommi *et al.*, 2008, Escalante 2006). Abayommi *et al.* (2008) al aplicar N60-P30 en frijol ejotero en unicultivo, incrementó BT en 53%. Por su parte, Balbino y William, 2003) que trabajaron con frijol común en espaldera de maíz, con un contenido inicial de 0.08% de N, y aplicación de N100 se encontraron incrementos de 98%. Morales *et al.*, (2007) quienes trabajaron con frijol de mata asociado con girasol, reportan que el suministro de 80 kg N ha⁻¹ se incrementó la producción de biomasa y rendimiento de grano, superando en 32 y 35 %, respectivamente, al testigo sin fertilizante. Por su parte Díaz y Escalante (2011) evaluaron diferentes combinaciones de fertilización nitrogenada, fosfatada y densidad de población en cultivo de ayocote en dos localidades de Puebla, reportan que con la combinación de 40 kg de nitrógeno más 40 kg de fósforo ha⁻¹ aplicados a una densidad de 100 a 120 mil plantas ha⁻¹ logran RG de 1300 y 2085 kg ha⁻¹, el testigo (sin fertilización) mostró 1100 kg ha⁻¹. Los

mismos autores mencionan que los componentes de RG en ayocote se incrementaron con la adición de fertilizante nitrogenado y fosfatado en comparación al testigo. RG presentó una alta relación con NG y NV con respecto a la aplicación de niveles de N75 y N150 (Cuadro 2). Eso sugiere que para lograr incrementos en el RG en el cultivo del ayocote, se debe buscar elevar la demanda de fotoasimilados mediante una mayor NV y NG, lo que provocaría una mayor partición de MS hacia el grano (Díaz y Escalante, 2011; Escalante 2013).

Cuadro 2. Correlación entre Rendimiento en grano (RG, gm⁻²), Biomasa Total (BT, gm⁻²), No de vainas, m⁻² (NV), No de grano, m⁻² (NG), Granos por vaina (GV,) de ayocote en función de la fertilización nitrogenada. Montecillo, Texcoco, Méx. Verano 2014.

| N Kg ha ⁻¹ | Componentes de rendimiento | Coefficiente de determinación de R | Probabilidad de F |
|-----------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------|
| N75 | NG | 0.91 | ** |
| | NV | 0.98 | ** |
| | GV | 0.6 | NS |
| N150 | NG | 0.84 | ** |
| | NV | 0.95 | ** |
| | GV | 0.5 | NS |

NS= no significativo, significativo a $P \leq 0.05$; **0.01 ($P \leq 0.01$)

Diversos estudios en frijol, han demostrado que mediante la aplicación de N al suelo, pueden lograrse incrementos en el número de vainas, número de granos y consecuentemente en el rendimiento (Fageria y Santos, 2008, Escalante *et al.*, 2011; Escalante *et al.*, 2013).

Biomasa, índice de cosecha

Para BT, IC y RG, se registraron cambios significativos por el efecto de la fertilización nitrogenada con 75 y 150 kg N ha⁻¹ se lograron valores más altos en RG y BT en 10 y 12 % en ambas variables con respecto al testigo (Cuadro 2).

Cuadro 3. Biomasa, índice de cosecha, rendimiento de grano de ayocote (*P. coccineus* L.), en espaldera con maíz, en función de fertilización nitrogenada. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014.

| N Kg ha ⁻¹ | BT g m ⁻² | RG g m ⁻² | IC % |
|-----------------------|----------------------|----------------------|------|
| N150 | 2124 ^a | 806a | 37b |
| N75 | 2076b | 781b | 37b |
| N0 | 1875c | 734c | 39a |
| MG | 2025 | 774 | 37.6 |
| Tukey 5% | 29 | 17 | 1.7 |
| Prof. F: ** < 0.01 | ** | ** | ** |

Niveles de fertilización N0: 0 kg ha⁻¹, N75: 75 kg ha⁻¹, N150: 150 kg ha⁻¹; BT: Biomasa Total; RG: rendimiento de grano (g m²); IC, índice de cosecha; Media General; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P < .01; indican efecto significativo.

Este comportamiento puede ser resultado del estímulo en el tamaño del dosel vegetal por el N, lo cual aumenta la intercepción de radiación solar, misma que resulta en mayor acumulación de materia seca. Lo anterior coincide con Escalante (2001) quién menciona que con N se puede lograr un establecimiento rápido del área foliar debido al estímulo que recibe la expansión foliar, mayor cobertura del suelo, intercepción de la radiación y en consecuencia, mayor producción de materia seca y mayor rendimiento (Escalante *et al.*, 2014). Por su parte Apáez *et al.* (2014) que trabajaron con frijol ejotero asociado con maíz, y distintas aplicaciones de N y P, mencionan que con la aplicación de 150 kg de N y 150 kg P ha⁻¹, se logra la mayor producción de BT, con incrementos de 77% al 90 % en relación al testigo. Los mismos autores señalan que la respuesta en la BT con la aplicación de N y P, se puede atribuir a que estos nutrimentos estimulan el tamaño del dosel vegetal, lo cual aumenta la intercepción solar y fotosíntesis, que se refleja en la acumulación de materia seca y aumento del RG.

Con respecto al IC en los tratamientos de N150 (37 %) y N75 (37%) fue menor con respecto al testigo N0 (39%); no obstante que el incremento de N disminuyó IC, la producción de BT se incrementó en mayor proporción que RG, lo cual indica, que el aumento en MS en partes vegetativas no es proporcional al incremento en las partes

reproductivas; dicha respuesta puede atribuirse a que la aplicación de N contribuye en gran medida al crecimiento de la parte vegetativa (hojas y tallo), que en algunos casos es en detrimento de la parte reproductiva (vainas y granos). Lo anterior coincide con lo reportado Fageria y Baligar (2005), Morales *et al.* (2007), Balbino y William (2003), dichos autores indican que la aplicación de N disminuye el IC, de tal manera, que los valores más altos se presentaron en los tratamientos sin aplicación de N. Tendencias similares fueron reportadas en frijol común asociado con girasol por Apáez *et al.* (2011).

Número de hojas verdes, índice de área foliar y duración del área foliar.

El número de hojas verdes (NHV), índice de área foliar (IAF) y duración foliar total (DAFT) mostraron diferencias estadísticas por el efecto de la fertilización nitrogenada (Cuadro 4). El NHV e IAF se incrementaron conforme avanzó el ciclo de cultivo, encontrándose los valores máximos a los 90 dds. Los diferentes niveles de N suministrado ocasionaron incrementos en NHV e IAF a partir de los 42 dds. Esto indica que la aplicación inicial de N fue suficiente para satisfacer el requerimiento para el crecimiento y desarrollo del dosel vegetal del cultivo. La aplicación de N150 incremento en 28, 30 y 31 % en NHV, IAF y DAFT, respectivamente, seguido de la aplicación de N75 con 19, 11 y 19%, respectivamente (Cuadro 4).

Cuadro 4. Número de hojas verdes (NHV m²), índice de área foliar (IAF) y duración de área foliar total (DAFT) de ayocote (*P. coccineus* L.) en espaldera de maíz en función de fertilización Nitrogenada. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014.

| N Kg ha ⁻¹ | NHV m ² | | | | IAF | | | | DAFT (días) |
|-------------------------|--------------------|-----|-----|-----|--------|-------|-------|-------|-------------|
| | 30 | 60 | 90 | 120 | 30 | 60 | 90 | 120 | |
| N0 | 33 | 146 | 246 | 172 | 0.091c | 0.52c | 0.98c | 0.64c | 33.2c |
| N75 | 47 | 170 | 283 | 213 | 0.102b | 0.78b | 1.17b | 0.80b | 40.9b |
| N150 | 58 | 204 | 314 | 240 | 0.129a | 0.92a | 1.31a | 0.94a | 48.3a |
| M G | 46 | 173 | 281 | 208 | 0.107 | 0.74 | 1.56 | 0.79 | 41 |
| DS | 7.1 | 8.1 | 11 | 13 | 0.006 | 0.065 | 0.071 | 0.049 | 2.27 |
| Prof. **<0.01 | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** | ** |

Niveles de fertilización N0: 0 kg ha⁻¹, N75: 75 kg ha⁻¹, N150: 150 kg ha⁻¹; NHV: Número de hojas verdes; IAF: Índice de área foliar; DAFT: Duración del área foliar total (días); MG: Media General; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P <0.01; indican efecto significativo.

Serrano *et al.* (2000) mencionan que la aplicación de N a un cultivo acelera la cobertura de la superficie del suelo y aumenta la intercepción de radiación. Por su parte, Gutiérrez *et al.* (2004) indican que con N200 hay una mayor cobertura del suelo por el incremento del área foliar, donde la radiación interceptada fue más alta debido a un mayor IAF provocando, a su vez, mayor acumulación de biomasa. Resultados similares fueron reportados por Apérez (2014) que trabajó con frijol ejotero asociado con maíz en clima templado y cálido, señala que hay incrementos en la NHV, IAF y DAF al aplicar 150 kg de N con P₂O₅. Por su parte, Abayomi *et al.* (2008) que trabajaron con frijol ejotero en unicultivo y fertilización de N60-P30 incrementaron en 30% NHV. El incremento y duración del dosel vegetal generado por la aplicación de N se refleja en el incremento de biomasa y rendimiento, debido a una mayor radiación interceptada. Gutiérrez *et al.* (2004) trabajaron con frijol (*Phaseolus vulgaris*) cv. Flor de Durazno con aplicaciones de nitrógeno (0, 100 y 200 kg ha⁻¹), obteniendo el RG más alto (549 gm⁻²) se logró con la aplicación de 200 kg ha⁻¹ de N, así mismo, el incremento del número de vainas y semillas m⁻² fueron los componentes relacionados con la aplicación de N.

Análisis de crecimiento

Tasa media de asimilación neta (TAN)

La dinámica de la TAN para los tratamientos de niveles de fertilización de ayocote en asociación presentaron las tasas más altas en el periodo de 33 a los 61 dds, posteriormente disminuyó conforme avanzó el ciclo de desarrollo del cultivo hasta llegar a madurez fisiológica, donde se registraron los valores más bajos (120 dds) (Figura 2). Lo anterior puede atribuirse al autosombreado en el cultivo por el incremento del tamaño del dosel vegetal, además de un aumento en la tasa de senescencia foliar (Apáez *et al.*, 2013; Delgado *et al.*, 2015).

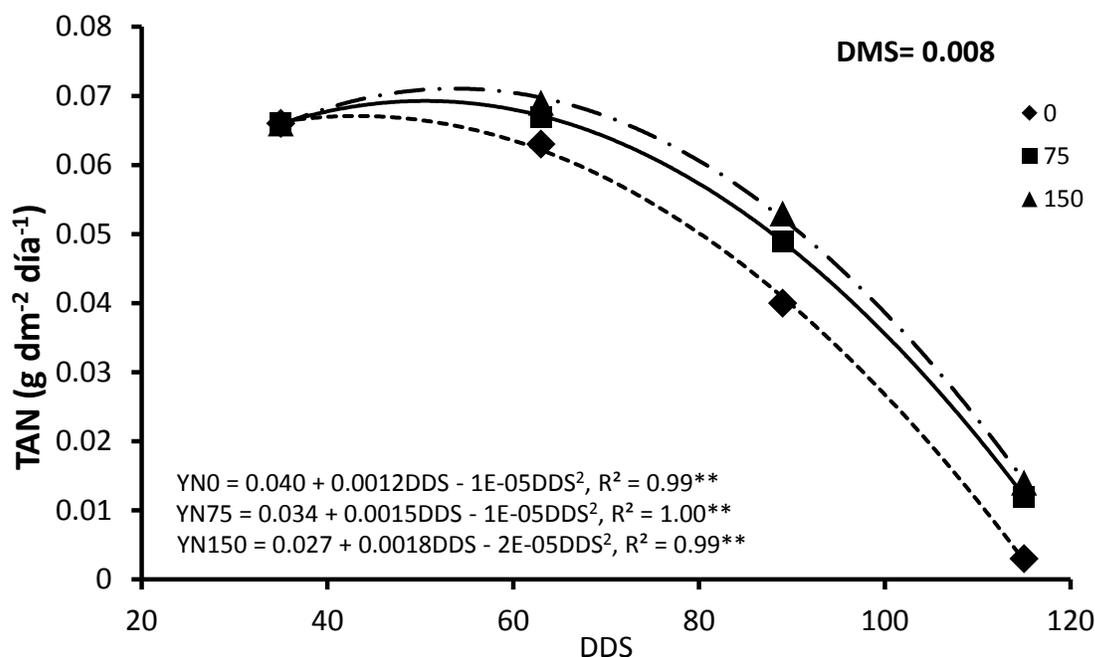


Figura 2. Dinámica de la tasa de asimilación neta (TAN) de ayocote (*P. coccineus* L.) en espaldera de maíz. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014.

El ayocote con aplicación de N presentó la TAN más alta a los 61 dds, de tal manera, que con la aplicación de N150 y N75 se incrementó 0.005 y 0.003 g dm⁻² día⁻¹, respectivamente, y en 0.009 y 0.006 g dm⁻² día⁻¹ a los 118 dds, en relación al testigo (N0).

De acuerdo con el modelo de regresión cuadrático, en la parte lineal con N150 y N75, por día TAN aumenta en 0.0018 y 0.0015 g dm⁻², mientras que el testigo 0.0012 g dm⁻² (Figura 2). Es decir, el N estimuló el desarrollo y crecimiento del dosel vegetal, generando una mayor producción de MS, lo anterior coincide con Corriera *et al.*, (2005) quienes encontraron que la aplicación de N genera incrementos del tamaño de la hoja, captando mayor radiación solar, incrementando la actividad fotosintética. Hunt (2003), señala que la TAN es alta cuando las plantas son pequeñas y la mayoría de las hojas están expuestas a la radiación solar en forma directa, pero conforme el cultivo crece y el IAF se incrementa, los valores de la TAN disminuyen. Lo anterior coincide con Galdámez *et al.*, (2010) que trabajaron con el sistema maíz-calabaza-frijol con valores de TAN de 0.019 y 0.020 g dm⁻² día⁻¹ para calabaza y frijol, mencionan que la TAN fue mayor al inicio del crecimiento de los cultivos y decreció con el tiempo, debido a que el área foliar decrece de abajo hacia el ápice de la planta, y la TAN decrece en ese orden.

Tasa media de crecimiento de cultivo (TCC)

La dinámica de la TCC la mayor acumulación de materia seca por día se presentó a los 91 dds (Figura 3). La aplicación de los niveles de N estimuló significativamente la TCC, los valores más altos con N150 (5.56 g m⁻² día⁻¹), seguido de N75 (4.71 g m⁻² día⁻¹) y los más bajos fueron con el testigo (N0, 2.89 g m⁻² día⁻¹). La TCC más baja se registró a los 118 dds la madurez fisiológica del cultivo. De acuerdo con el modelo de regresión, el incremento más alto de MS por día se logró con N150 (0.32 g m⁻²), al testigo registró la TCC más baja (0.23 g m⁻²). El aumento de la TCC con la aplicación de N se relaciona con mayor tamaño de dosel vegetal a través del NHV e IAF, inducido por este nutrimento, además, a una mayor duración de la actividad fotosintética. Se ha encontrado que el

incremento en las tasas de crecimiento se relaciona con mayor acumulación de biomasa y rendimiento de grano más alto (Escalante *et al.*, 2013). La mayor acumulación de materia seca fue durante la etapa vegetativa, se puede atribuir a la PP fue mayor durante esta etapa y contribuyó al desarrollo del dosel. Escalante y Rodríguez (2006), mencionan que el mayor crecimiento del dosel vegetal conduce a una mayor intercepción de luz, incrementando la producción de biomasa, el cual ésta relacionado con el rendimiento.

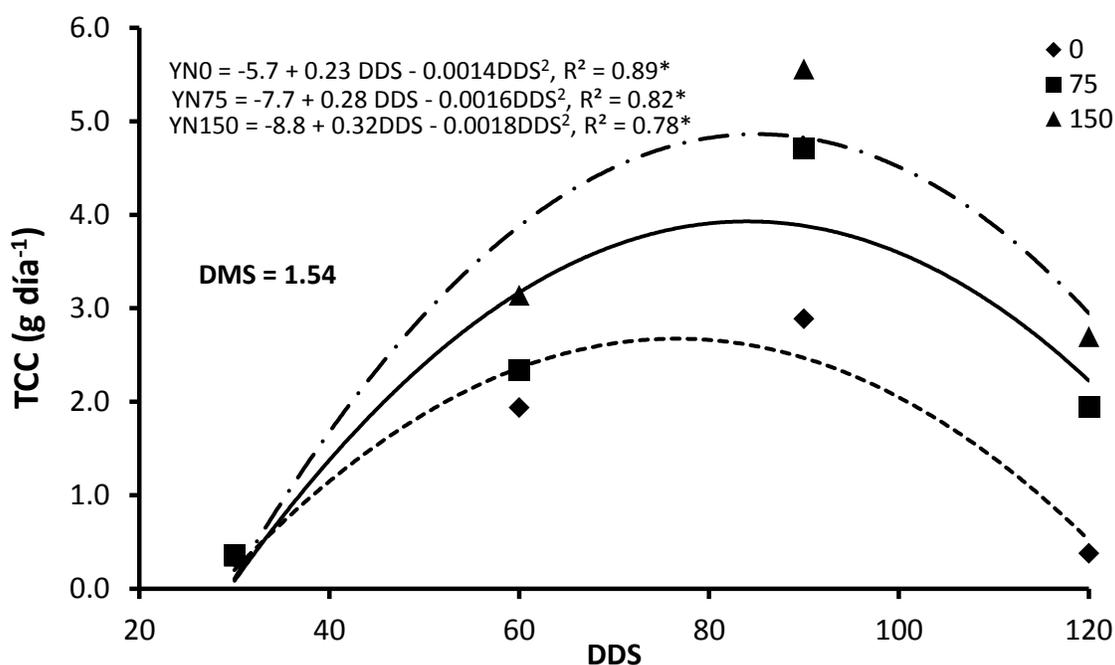


Figura 3. Dinámica de la tasa de crecimiento de cultivo (TCC) de ayocote (*P. coccineus* L.) en espaldera de maíz. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014.

Por su parte, Escalante *et al.* (2014), que trabajaron con *P. coccineus* y *P. vulgaris* evaluaron el patrón y velocidad de crecimiento, producción de biomasa, IC y RG y sus componentes de diferentes genotipos de *Phaseolus* (entre ellos *P. coccineus*) sembrados en suelo alcalino y clima templado, reportando que durante el desarrollo de dichos genotipos se observa que TCC de Ayocote fue superior a la de Bayomex, Criollo y Canario; TCC máxima se observó durante el periodo de los 63 a 73 dds, y fue de 8.4, 6, 2.8 y 2 g m⁻² día⁻¹

para Ayocote, Bayomex, Criollo y Canario, respectivamente. Por su parte, Apáez *et al.* (2013) quienes trabajaron con frijol ejotero asociado con maíz y girasol en clima templado, reportan que la TCC del frijol ejotero en espaldera de girasol ($1.3 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$) fue superior a la de maíz ($0.9 \text{ g m}^{-2}\text{d}^{-1}$). Resultados similares reportaron Díaz *et al.* (1995), quienes al evaluar el crecimiento y desarrollo del frijol trepador encontraron que para la siembra con espaldera convencional se generaron 2.86 g d^{-1} , mientras que con espaldera de maíz se observaron 0.91 g d^{-1} .

Biomasa total, acumulación y su distribución en los órganos de la planta.

La producción de biomasa (BT) presentó cambios significativos por el efecto del N, pero no afectó la distribución en las diferentes estructuras de la planta. La mayor BT se generó con la aplicación de N150, con incrementos de 12%, respecto al testigo (N0). Se puede observar que la producción de BT y RG, se incrementa al aumentar el nivel de nitrógeno, dicha respuesta es del tipo lineal bajo el modelo $Y = A + BX$ (Figura 4). La pendiente (B) más alta en la ecuación BT en función del nitrógeno, sugiere que con la fertilización se estimula el tamaño del dosel vegetal, aumenta la radiación solar interceptada y en consecuencia se logra mayor producción de materia seca (Escalante *et al.*, 2013).

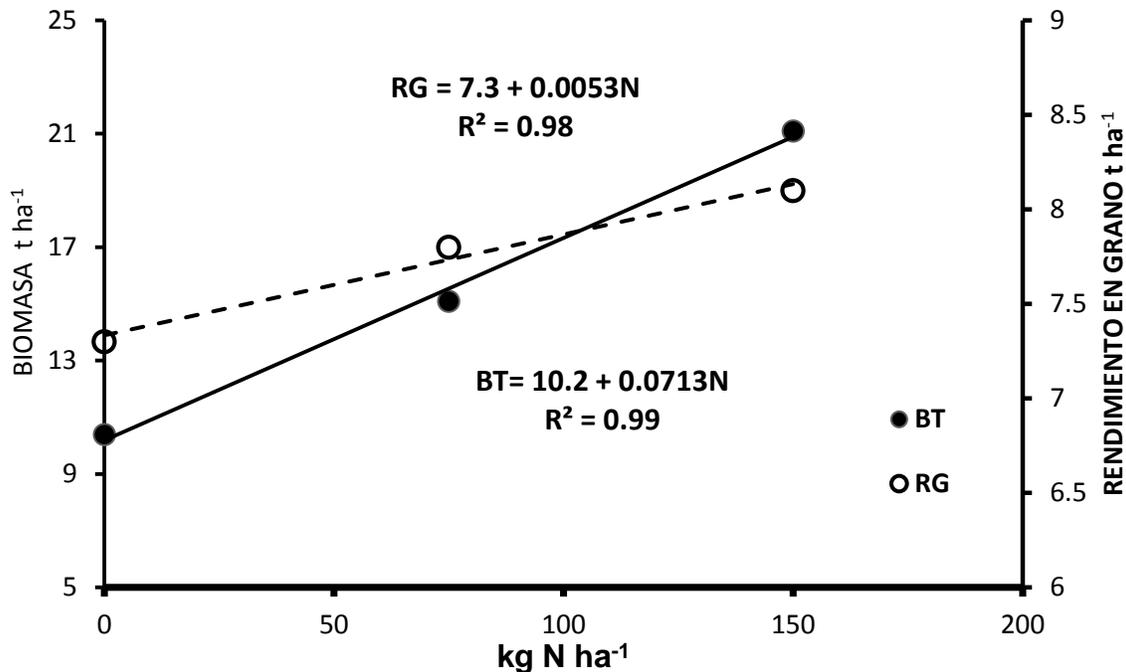


Figura 4. Dinámica de la producción de la biomasa total y rendimiento en grano del cultivo de ayocote en espaldera viva de maíz en función de fertilización nitrogenada, Montecillo, Texcoco, Edo de Méx. México, verano 2014.

Por otra parte, la pendiente más baja en la relación RG y nitrógeno, indica la existencia de algún factor que limita mayor respuesta de RG a dicho nutriente. En todos los tratamientos BT se incrementó de forma gradual, conforme avanzó el desarrollo del cultivo, los incrementos más altos se registraron en el periodo de 32 a los 93 dds. Lo anterior puede atribuirse a una mayor producción de fotosíntesis, debida al crecimiento del dosel vegetal que proporciona mayor intercepción de luz y mayor aprovechamiento de los recursos como radicación, hídricos y nutrimentales (Aguilar *et al.*, 2015).

La acumulación de materia seca en las estructuras de la planta fue afectada por el N, en contraste a la distribución que fue prácticamente semejante (Figura 5). Los valores más altos de acumulación se encontraron con N150 (2124 g m⁻²), las estructuras con mayor acumulación de MS fueron el tallo y grano (37 y 38 %, respectivamente), esto se puede atribuir a que la aplicación de N estimula el desarrollo y crecimiento de estructuras

vegetativas (hojas y tallo) dichas estructuras al tener mayor área de cobertura logran captar más radiación solar incrementando la fotosíntesis, destinando los fotoasimilados a la formación y llenado de grano.

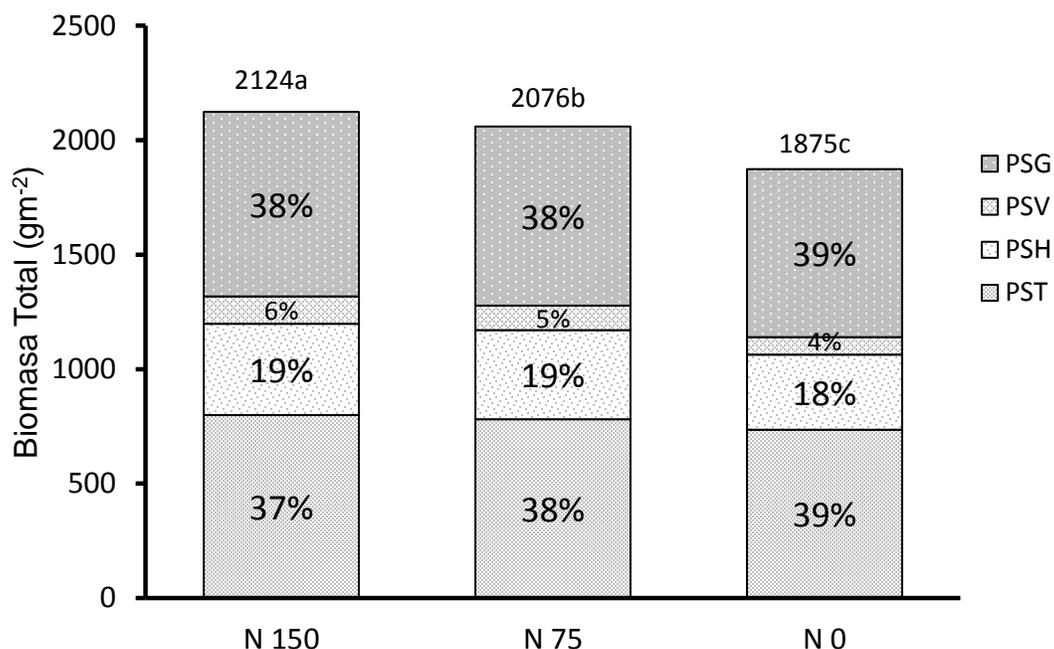


Figura 5. Dinámica de la producción de la biomasa total y su distribución en el cultivo de ayocote (*P. coccineus*) en espaldera viva de maíz en función de fertilización nitrogenada, Montecillo, Texcoco, Edo de Méx. México, verano 2014.

Delgado *et al.* (2015) al evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento del frijol ejotero en espaldera de maíz, en Montecillo, Estado de México, encontraron que el rendimiento y número de ejotes más altos se obtuvieron con 150 kg·ha⁻¹ de N. Apáez *et al.* (2013) que trabajaron con frijol chino asociado con maíz y girasol en Montecillo, Estado de México, reportaron una producción de BT con 150 kg·ha⁻¹ de N con incremento de 92%, en relación al testigo. Por su parte, Escalante *et al.* (2014) mencionan que la aplicación de N estimula el tamaño del dosel vegetal, lo cual aumenta la intercepción de radiación solar, la fotosíntesis y la MS en frijol. Morales *et al.*, (2007) que trabajaron con frijol asociado con girasol aplicando 80, 120 y 160 kg N ha⁻¹, indican incremento en el

índice y duración del área foliar, incrementando la intercepción de radiación solar, obteniendo una mayor producción de MS y RG (504 y 501 g m⁻², respectivamente, con 80 kg N ha⁻¹). Por su parte, Balbino y William (2003) que trabajaron con frijol común con espaldera de maíz, con aumentos de 54 y 59 %. Asimismo, Abayomi *et al.*, (2008), con aplicación de 60 kg N ha⁻¹ en frijol ejotero en unicultivo, incrementaron BT en 53%. La aplicación de N no modificó la distribución de BT en la planta, pero el IC fue afectado, esto se puede atribuir a la reducción en la acumulación de MS en el grano, conforme se incrementó la dosis de N.

Eficiencia del uso del agua (EUA)

La eficiencia en el uso del agua (EUA) para RG y BT mostró diferencias significativas por efecto de la aplicación de N (Cuadro 4). Con la aplicación de N150 se logró la mayor eficiencia de uso de agua para grano, con incremento de 7% y 13% para N75 y N150, respectivamente. Al respecto, se señala que dicho incremento en la disponibilidad de N eleva la EUA, y está relacionado con una mayor cobertura del suelo debido a un dosel vegetal más grande, que limita la pérdida de agua por evaporación (Caviglia y Sadras, 2001). También se incrementa la eficiencia fotosintética, lo que mejora la relación carbono fijado por unidad de agua disponible (Caviglia *et al.*, 2004; Eckert *et al.*, 2009; Escalante *et al.*, 2015).

Apáez *et al.*, (2013) que trabajaron con frijol ejotero asociado con maíz reportan que con 150 kg de N se logra una mayor EUA y producción de biomasa total con respecto al testigo. Por su parte, Díaz *et al.*, (2010) evaluaron frijol ejotero en unicultivo y asociado con girasol con una fertilización de 100-100-00 de NPK, reportan que la EUA en unicultivo (1.792 g m⁻² mm⁻¹) fue mayor que en asociación con girasol (0.368 g m⁻² mm⁻¹), dichos valores se

le atribuyeron a la biomasa seca incrementada por la aplicación de la fertilización en el monocultivo y a la competencia interspecifica en la asociación

Eficiencia agronómica del Nitrógeno (EAN)

Los tratamientos en la aplicación de niveles de N mostraron efectos significativos sobre la eficiencia agronómica de N (EAN) (Cuadro 5). La mayor EAN se logró con aplicación de N75, al presentarse una eficiencia de 6.23 kg de grano por cada kg de N aplicado, seguido por N150 (5.25 kg kg⁻¹). Se puede observar que el tratamiento que presentó mayor EAN no corresponde a la mayor producción de BT. Esto podría atribuirse a que cuando se aplican grandes cantidades de N, las pérdidas por volatilización y desnitrificación son mayores, además, la planta absorbe la cantidad que necesita de cada nutrimento y el resto queda libre, inmovilizado por los microorganismos o fijado en arcillas (Ramos-Lara *et al.*, 2002; Apáez *et al.*, 2013), asimismo, un exceso de N puede influir en la producción de vainas y llenado de grano y en consecuencia afectar RG (Morales *et al.*, 2007). Por su parte, Delgado *et al.* (2015) que evaluaron diferentes niveles de fertilización nitrogenada en frijol ejotero asociado con maíz, reportaron una EAN más alta con 75 kg ha⁻¹ de N, coincidiendo con Escalante y Rodríguez (2006), que mencionan que mediante la combinación de una densidad alta y con aplicación de N, se logra una mayor eficiencia en el uso de dicho nutrimento. Por su parte Pederson *et al.* (2002) y Fageria y Baligar (2005) y Apáez *et al.* (2013), mencionan que existe un decremento de la EAN con el uso de niveles de N150, lo que indica que el cultivo de frijol podría reducir la recuperación del N aplicado, debido a que pudiera exceder la capacidad de absorción de las raíces.

Cuadro 5. Eficiencia en el uso del agua (EUA) y eficiencia agronómica de nitrógeno (EAN) del cultivo de ayocote (*Phaseolus coccineus* L) en espaldera con maíz, en función de fertilización nitrogenada. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014.

| N kg ha⁻¹ | BT (g m⁻²) | RG (g m⁻²) | EUA (g m⁻² mm⁻¹) | EAN (kg kg⁻¹) |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|---|---------------------------------|
| 150 | 2124a | 806a | 2.19a | 6.23 |
| 75 | 2076b | 781b | 2.05b | 5.25 |
| 0 | 1875c | 734c | 1.91c | -- |
| MG | 2025 | 774 | 2.05 | 3.8 |
| Tukey 5% | 29 | 17 | 0.04 | 1.8 |
| Prof. F:**<0.01 | ** | ** | ** | -- |

Niveles de fertilización N0: 0 kg ha⁻¹, N75: 75 kg ha⁻¹, N150: 150 kg ha⁻¹; BT: Biomasa Total; RG: rendimiento de grano (g m²); Eficiente uso de agua (EUA, g m⁻² mm⁻¹), Eficiencia agronómica EAN (kg kg⁻¹) MG: Media General; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P <.01; indican efecto significativo.

Análisis económico

En el cuadro 6, se muestra el análisis económico del cultivo de ayocote en espaldera de maíz en función de fertilización nitrogenada, El mayor RGA y RGM e ingreso total se logró con la aplicación de 150 kg de N ha⁻¹. Sin embargo, presento los mayores costos variables y totales, de tal manera que, el ingreso neto fue de \$35 590 por ha⁻¹, generando una tasa de retorno más baja en relación al obtenido con la aplicación de 75 kg de N ha⁻¹ (con un IN de \$31760 por ha⁻¹ y TR de \$2.96 por peso invertido) que presento el valor más alto. El tratamiento sin aplicación de N presentó la menor TR. Esto se puede atribuir a la aplicación de N, que suben los costos al incrementar los niveles de aplicación de dicho fertilizante.

Cuadro 6. Análisis económico del cultivo de ayocote en espaldera de maíz en función de la fertilización nitrogenada. Montecillo México. Verano 2014.

| N kg ha⁻¹ | RGA kg ha⁻¹ | RGM kg ha⁻¹ | IT(\$) | CF (\$) | CV(\$) | CT(\$) | IN (\$) | TR(\$) |
|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| N0 | 734 | 2320 | 31110 | 5000 | 4200 | 9300 | 21810 | 2.34 |
| N75 | 781 | 4170 | 42460 | 5000 | 6750 | 9800 | 31760 | 2.96 |
| N150 | 806 | 5080 | 48090 | 5000 | 9500 | 12500 | 35590 | 2.84 |

RGA (rendimiento de grano de ayocote), RGM (rendimiento de grano de maíz); Ingresos totales (IT), costos fijos (CF), variables (CV), totales (CT), ingresos netos (IN) y tasa de retorno (TR); (IT) Rendimiento por el costo de kg de frijol ayocote (\$25.00), (CF) Incluye costos de preparación del terreno, manejo de cultivo, manejo de maleza (mano de obra), manejo de plagas y enfermedades, transporte, cosecha; (CV) Precio y cantidad de semilla y fertilizante;(CT) Costo fijo + Costo variable; (IN\$) Ingreso Total – Costo Total; (TR(\$)) Tasa de Retorno.

En general, estos resultados indican que se puede incrementar BT, RG, NV y NG de ayocote con espaldera viva de maíz con aplicaciones de N, debido a incrementos en el tamaño del aparato fotosintético (NHV, IAF), su duración (DAFT), TAN Y TCC. Lo anterior indica que el contenido de N en el suelo fue insuficiente para que el cultivo pueda expresar su máximo desarrollo.

CONCLUSIONES

La fertilización de nitrógeno (N) en el agrosistema ayocote en espaldera de maíz, incrementa el número de hojas verdes (NHV), índice y duración de área foliar (IAF y DAFT), tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento de cultivo (TCC), el rendimiento de grano y sus componentes, así como la acumulación de materia seca en cada estructura de la planta y en consecuencia la biomasa total. Con 150 kg de N ha⁻¹, se incrementa la biomasa total y rendimiento de grano, pero no afecta la distribución en las diferentes estructuras. El ingreso neto y ganancia por peso invertido se logra con 75 kg de N ha⁻¹.

LITERATURA CITADA

- Abayommi, Y. A., T. V. Ajibade, O. F. Samuel, and B. F. Saadudeen. (2008). Growth and yield responses of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) genotypes to nitrogen fertilizer (NPK) application in the Southern Guinea Savanna zone of Nigeria. *Asian J. Plant Sci.* 7: 170-176.
- Aguilar C. C.; Escalante-Estrada J.A.S.; Aguilar M. I. (2015). Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima calido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra latinoamericana*, 33(1): 51-62.
- Apáez, B. P., J. A. Escalante E. and M. T. Rodríguez G. 2011. Grow and yield of cowpea vean in relation with trellises types and climate.rop. *Subtrop.Agroec.* 13 (3):307-315.
- Apáez B. P.; Escalante-Estrada J.A.S.; Koch-Olt S. D.; Sosa M. E.; Olalde G. V. (2013). Eficiencia agronómica de nitrógeno y fósforo en la producción de frijol chino en espaldera de maíz. *Terra latinoamericana*, 31(4): 285-293.
- Apáez B.P.; Escalante-Estrada J.A.S; Rodríguez-Gutiérrez M. T.; Apáez B. M.; Olalde G.V.M. (2014). Phenology, biomass and yield of cowpea in terms of climate and trellis type. *African Journal of Agricultural Research*, 9(32):2520-2527.
- Ayala G. O.J., Pichardo G. J.M., Estrada G. J. A., Carrillo S. J. A., Hernández L. A. (2006). Rendimiento y calidad de semilla de frijol ayocote en el Valle de México. *Agric. Téc. Méx.* 32, 313-321.
- Barrios-Gómez E. J.; López-Castañeda C.; Kohashi-Shibata J.; Acosta-Gallegos J. A.; Miranda-Colín S.; Mayek-Pérez N. (2010). Rendimiento de semilla, y sus componentes en frijol flor de mayo en el Centro de México. *Agrociencia* 44: 481-489.
- Barrios-Gómez E. J.; López-Castañeda C.; Acosta-Gallegos J. A.; Miranda-Colín S.; Canul-Ku J. (2011). Efecto del estrés hídrico en el crecimiento y desarrollo de frijol. *Investigación Agropecuaria*, 8(1): 1-15.
- Balbino, M. L. and R. William, W. (2003). Effect of plant population and nitrogen fertilizer on yield and efficiency of maize-bean intercropping. *Pesq. Agropec. Bras.* 38: 1257-1264.
- Caviglia O.P. y Sadras V.O. (2001). Effect of nitrogensupply on crop conductance wáter and radiation use efficiency of wheat. *Field Crop Res.* 69: 259-266.
- Correira C. M.; Mouthino P. J. M.; Coutinho J. F.; Bjorn L. O.; Torres P.J. M.G. (2005). Ultraviolet-B radiation and nitrogen effect the photosynthesis of maize: a Mediterranean fieldstudy. *Eur. J. Agronomy* 22:377-347.
- Delgado M.R.; Escalante-Estrada J.A.S.; Díaz R.; Trinidad S.A.; Morales R. E.J. y Sosa M.E. (2014). Defoliación en maíz y su efecto sobre el rendimiento de frijol-maíz en asociación. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6): 1015-1027.

Delgado M.R.; Escalante-Estrada J.A.S.; Morales R. E.J.; López S. J.A.; Rocandio R. M. (2015). Producción y rentabilidad del frijol ejotero (*Phaseolus vulgaris* L.) asociado a maíz en función de la densidad y el nitrógeno en clima templado. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. UNCUIYO. 47(2): 15-25

Díaz C.; Rivera J.; Quiroz J. (1995). Crecimiento y desarrollo del maíz y frijol trepador en monocultivo y asociación. Actulidades Corpoica Medellin, Regional. 4(9):5-10

Díaz López E.; Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T.; Gaytán A. (2010). Producción de frijol ejotero en función del tipo de espaldera. Revista Chapingo Serie Horticultura. 16: 215-221.

Díaz-Ruíz R y Escalante Estrada J. A. S. (2011). Rendimiento de grano y sus componentes en ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) en función del nitrógeno, fósforo y densidad de población. Investigación Interdisciplinaria para el desarrollo rural en Puebla y Tlaxcala. p.102-119

Eckert F. R.; Kandel H.J.; Johnson B.L.; Rojas-Cienfuentes A.; Vander Wal A.J.; Deplazes Ch.; Osorno J. M. (2009). Row spacing and nitrogen fertilization effect on architectural traits and yield loss of dry vean varieties under direct harvest. Ann. Rep. Bean Improv. Coop. 52(1): 126-127.

Escalante E. J. A. (1995). Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. Agroproductividad 12: 28-32.

Escalante-Estrada, J. A. S. 2001. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y nitrógeno en girasol de humedad residual. Terra 19: 19-27.

Escalante E. J. A.; Rodríguez G. M. T. (2006). Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Yield in relation to growth habit, plant density and nitrogen fertilization. Annual Report of Bean Improvement Cooperative, 49, 253-254.

Escalante E., J. A. y M. T. Rodríguez G. 2011. Biomasa y rendimiento en haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. Cienc. Agríc. Inf. 20: 16-25.

Escalante-Estrada, J. A., Kohashi-Shibata, J. (2015). El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México.

Escalante E. J.A., Rodríguez G. M.T, Escalante E. Y.I. (2013). Aplicación dividida de nitrógeno, su efecto sobre la eficiencia agronómica, rendimiento y componentes en frijol. Ciencia y Tecnol. Agrop. México 1, 2-55.

Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T.; Escalante-Estrada Y.I. (2014). Tasa de crecimiento de biomasa y rendimiento de frijol en función del nitrógeno. Ciencia y Tecnol. Agrop. México 2 (1):1-8.

Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T.; Escalante-Estrada Y.I. (2015). Acumulación y distribución de materia seca en cultivares de maíz asociados con frijol en clima templado, *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12:139-143

Fageria, N. K. and V. C. Baligar. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Adv. Agron.* 88: 97-185.

Fageria, N.K. y Santos A.B. (2008). Yield physiology of dry beans. *J. Plant Nutrition* 31 (6):983-1004.

Fageria N.K., Bailar V. C., Moreira A., Portes T.A. (2010). Dry bean genotypes evaluation for growth, yield components and phosphorus use efficiency. *J. Plant Nutr*, 33(14), 2167-2181.

Galdámez-Galdámez J.; Aguilar-Jiménez C.E.; Gutiérrez-Martínez A.; Morales-Cabrera J.A.; Mendoza-Pérez S.; Martínez-Aguilar F. (2010). Maíz asociado con frijol, canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) y calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) en Villaflores, Chiapas. *Quehacer Científico en Chiapas*, 1(10) 18-29

Gracia E. L. (2005). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª (ed). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). D.F. México. 217 p.

Gutiérrez-Rodríguez m.; Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T.; Reynolds Matthew p. (2004). Indices de reflectancia y rendimiento del frijol con aplicaciones de nitrógeno. *Terra latinoamericana* 22 (4): 409-416.

Hunt, R. (2003). Growth analysis, individual plants, in: Thomas, B., D.J. Murphy y D. Murray (eds). *Encyclopaedia of applied plant sciences*, pp.579-588. Londres: Academic Press.

Morales R., E. J., J. A. Escalante E. y J. A. López S. 2007. Producción de biomasa y endimio de semilla en la asociación girasol (*Helianthus annuus* L.) - frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en función del nitrógeno y fósforo. *Cienc. Ergo Sum* 14: 177-183.

Pederson G.A.; Brink G. F.; Fairbrother T. E.(2002) Nutrients uptake in plants part of sixteen forages fertilized with poultry litter: Nitrogen, phosphorus, potassium, copper and zinc. *Agron. J.* 94: 895-904.

Ramos-Lara C.; Alcántar-González G.; Galvis-Spínola A.; Peña-Lomelí A.; Martínez-Garza A. (2002). Eficiencia en el uso del nitrógeno en tomate de cascara en fertirriego. *Terra* 20:465-469.

Rasband, W. S. 2007. ImageJ. US National Institutes of Health, Bethesda, Meryland, USA, <http://rsweb.nih.gov/ij/>.

Rincón Álvaro; Ligarreto G.A.; Sanjueanelo D. (2007) Crecimiento del maíz y los pastos (*Brachiaria sp.*) establecidos en monocultivo y asociados en suelos ácidos del piedemonte llanero colombiano. *Agronomía Colombiana*. 25(2), 264-272.

Rincón, G. N.; Olarte Q. M. A.; Pérez N. J. C. (2012) Determinación del área foliar en fotografías tomadas con una cámara web, un teléfono celular o una cámara semiprofesional. *Rev. Fac. Nal. Arg. Medellín* 65(1):6399-6405.

Rojas-Victoria N.J.; Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T. (2015). Biomass and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) in association with maize. *Ann. Rep. Bean. Improv. Coop.* 58:129-130.

Santos C., M., M. Segura A. y C. E. Núñez L. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 63: 5253-5266.

SAS Institute Inc. 2011. SAS® 9.3 Guide to Software updates. Cary, NC:SAS Institute Inc.

Thomas-Newton M.; Abramo M. J.; Fernandes de Sousa A. K.; Curti G. L.; Fogolar H.; dos Santos C. V. (2013) Utilizando el software ImageJ para estimar el área foliar para el cultivo de frijol. *Interciencia*, 38(12):843-848

Volke H. V. (1982). Optimización de insumos de la producción en la agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo. México. 61p.

CAPITULO V
RENDIMIENTO Y CALIDAD NUTRIMENTAL DE AYOCOTE CON
ESPALDERA DE MAÍZ Y TIPO DE FERTILIZACIÓN

RENDIMIENTO Y CALIDAD NUTRIMENTAL DE AYOCOTE CON ESPALDERA DE MAÍZ Y TIPO DE FERTILIZACIÓN

RESUMEN

El ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa originaria del territorio mexicano, cuyo aprovechamiento es con fines alimenticios. El ayocote en general se siembra en asociación con maíz que sirve como espaldera. Por otra parte, para incrementar el rendimiento de grano se ha recurrido a prácticas agrícolas como la fertilización nitrogenada y la aplicación de biofertilizantes, que le permiten a la planta hacer más eficiente el incremento del rendimiento de grano. El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la fertilización nitrogenada, biofertilización en la producción de biomasa, rendimiento de grano y calidad nutrimental del grano de ayocote en espaldera de maíz. El estudio se realizó en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. La siembra se realizó el 5 de mayo de 2014, con un cultivar de frijol Ayocote de grano color violeta y como espaldera un cultivar de maíz criollo, los niveles de nitrógeno fueron: N0, N50 y N100 kg de N ha⁻¹ con (CB) y sin biofertilizante (SB). El biofertilizante contenía *Bacillus*, *Azospirillum* y *Glomus sp.* El diseño experimental fue de bloques al azar con arreglo de parcelas sub-subdivididas. A la cosecha se evaluó el rendimiento de grano (RG, g m⁻²), y sus componentes, biomasa (BT; g m⁻²) y la calidad nutrimental de la semilla de ayocote (extracto etéreo, carbohidratos totales, contenido de nitrógeno y proteína). Los valores más altos en rendimiento de grano (RG), biomasa total (BT), número de vainas (NV) se lograron con el tratamiento N150-CB, así como la distribución de materia seca (MS) de las estructuras de la planta se incrementó un 19 % con respecto al testigo. Con la aplicación de N150-CB se determinó el contenido de proteína, nitrógeno, extracto etéreo y carbohidratos totales, los valores fueron de 22.2 mg g⁻¹ P.S.,

3.57%, 2.53% y 34 mg g¹ P.S., respectivamente. La aplicación de nitrógeno y biofertilizante en ayocote sembrado en espaldera de maíz, incrementó el rendimiento de grano y sus componentes, la biomasa total, pero no afectó la distribución de materia seca en las diferentes estructuras. El contenido de proteína, extracto etéreo y carbohidratos totales son afectados al variar el suministro de nitrógeno al suelo.

Palabras clave: Rendimiento de grano, biofertilizante, calidad nutricional.

YIELD OF GRAIN AND NUTRIMENTAL QUALITY OF AYOCOTE IN CORNER LEVEL AND FERTILIZATION TYPE

SUMMARY

The ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) is a legume originating in the Mexican territory, used for food purposes. The ayocote in general is sown in association with maize that serves as trellis. On the other hand, agricultural practices such as nitrogen fertilization and biofertilizers have been used to increase grain yield, which allow the plant to increase grain yield. The objective of the present study was to determine the effect of nitrogen fertilization, biofertilization on biomass production, grain yield and nutritional quality of the ayocote grain. The study was carried out in the experimental field of the Postgraduate College, Montecillo, State of Mexico. Sowing was done on May 5, 2014, with an Ayocote bean cultivar of violet grain and as a backyard cultivar of landrace maize, nitrogen levels were: N0, N50 and N100 kg of N ha⁻¹, with biofertilizer (CB) and without biofertilizer (SB). The biofertilizer (*Bacillus*, *Azospirillum* and *Glomus* sp.). The experimental design was split-splitplot. The evaluated variables were: the grain yield (GY, g m⁻²) and its components, biomass (TB; g m⁻²) and nutrient quality of ayocote seed (etheral extract, total carbohydrates, nitrogen content and protein). The highest values in grain yield (GY), total biomass (TB), number of pods (NP), were achieved with the N150-CB treatment, as well as the dry matter (DM) distribution in the plant structures increased around 19% with respect to the control. The higher values of protein, nitrogen, etheral extract and total carbohydrate contents were found with N150-CB (22.2, 3.57, 2.53% and 34 mg g⁻¹, respectively). The application of nitrogen and biofertilizer in ayocote planted with maize trellis increases the yield of grain and its components, total biomass, but does not affect the

distribution in the different structures. Protein content, ethereal extract and total carbohydrates are affected by varying the nitrogen supplied to the soil.

Key words: Grain yield, biofertilizer, nutritional quality.

INTRODUCCIÓN

La asociación de cultivos presenta ventajas sobre el unicultivo, como son mayor eficiencia en el uso de recursos (agua, luz, suelo, nutrientes, etc), aumento en la diversidad de productos cosechados y complementación entre las especies componentes del sistema (Morales *et al.*, 2006). El ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una leguminosa originaria de las zonas templadas del territorio mexicano, con gran potencial de uso y aprovechamiento con fines alimenticios para la población humana mediante el uso de su follaje, flores, vainas y semillas (Ayala *et al.*, 2006, Rojas *et al.*, 2015). Los cultivares de ayocote que presentan hábito de crecimiento trepador, requieren de un tutor o espaldera para dar soporte a la planta que pueden ser postes de madera o de metal con mallas de plástico, o especies vegetales como el maíz. Por otra parte, para incrementar el rendimiento de grano se ha recurrido a prácticas agrícolas como la fertilización, la cual se considera de importancia para incrementar el rendimiento de grano. Diversos estudios en leguminosas muestran que hay un incremento con la aplicación de N al suelo, por aumento en número de granos y vainas (Escalante *et al.*, 2014), además de una mayor acumulación de N y contenido de proteína en el grano. Asimismo, la biofertilización (inoculantes a base de microorganismos generalmente bacterias y hongos) puede contribuir a mejorar la nutrición de la planta mediante la fijación de N-atmosférico y aumento del sistema radical (Rodríguez *et al.*, 2009; Rangel *et al.*, 2014). El incremento en el rendimiento con la aplicación de biofertilizantes y la aplicación de fertilización nitrogenada, se atribuye a que la planta dispone de mayor cantidad de nutrimentos, con lo cual puede hacer más eficiente el uso de recursos naturales como agua y radiación solar. Cuando las plantas cuentan con nutrición apropiada, son más resistentes al ataque de plagas, enfermedades, y consecuentemente producirán más flores, y mayor rendimiento (Mejía *et al.*, 2011). El uso de estos tipos de

fertilización pueden contribuir a mejorar la calidad nutrimental de la semilla, en este sentido Irizar *et al.*, (2003) observaron que en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) que con la aplicación de *Rhizobium etli* + *Glomus intraradices* el rendimiento de grano (RG) aumentó en 28% respecto al testigo. Grageda-Cabrera *et al.*, (2002) encontraron que la mayor fijación de N ocurre al inicio de la etapa reproductiva, lo cual ayuda a mejorar el rendimiento de grano así como la calidad nutrimental del mismo, esto debido a que hay mayor acumulación de N en forma de proteínas. Salinas *et al* (2011) reportan un aumento en la concentración de proteínas, fibra cruda detergente ácido y minerales como calcio y fósforo, con la consecuente disminución de carbohidratos en vainas de frijol ejotero con biofertilizante (*R. etli* + *G. intraradicales*). La mayor fijación de N ocurre al inicio de la etapa reproductiva, lo que mejora el rendimiento y la calidad nutrimental, por la mayor formación de proteínas (Grageda *et al.*, 2000). (Rodríguez y López, 2009) indican que el uso de cepas nativas de *Rhizobium* inoculadas artificialmente representan la posibilidad de lograr aumentar la fertilización biológica para un sistema de fijación biológica de nitrógeno de mediana eficiencia. Por lo anterior, una alternativa para incrementar el rendimiento y hacer más eficiente el uso de recursos (suelo, agua, nutrientes y luz), el objetivo del presente estudio fue determinar el efecto de la fertilización nitrogenada, biofertilización en la producción de biomasa, rendimiento de grano y la calidad nutrimental del grano de ayocote en espaldera de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se estableció en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, (19° 29' N y 98° 54' O, 2250 m de altitud), con clima Cw que corresponde al menos seco de los áridos con régimen de lluvias en verano (García, 2005), con período libre de heladas de 170 días, temperatura media anual de 15.4 °C y precipitación media anual de 512 mm; el suelo es de textura franco-arenoso, con pH de 7.1, CE de 0.49 (sin problemas de salinidad). La siembra se realizó el 5 de mayo de 2014, con un cultivar de frijol Ayocote (Ayo) de grano color violeta cultivar (Cv) Tlaxcala, hábito de crecimiento indeterminado trepador (Tipo IV) y como espaldera un cultivar de maíz criollo raza chalqueño Azul, la distancia entre matas fue de 0.30m y 0.80 m entre hileras, la unidad experimental consistió de tres surcos de 5 m de longitud con orientación este a oeste, tomando el surco central como parcela útil. Los tratamientos de niveles de nitrógeno fueron: N0, N50 y N100 kg de N ha⁻¹ con biofertilizante (CB) y sin biofertilizante (SB), dicho biofertilizante contiene bacterias *Bacillus* y *Azospirillum* y hongos micorrízicos (*Glomus sp.*). El diseño experimental fue de bloques al azar con arreglo de parcelas sub-subdivididas y cuatro repeticiones. La parcela mayor correspondió a la presencia de biofertilizante, la parcela menor fue el nivel de nitrógeno.

A la cosecha del ayocote se evaluó el rendimiento de grano (RG, 10% de humedad, g m⁻²), y sus componentes como: número de vainas m⁻² (NV); número de granos por vaina (GV); número de granos m⁻² (NG), biomasa (MS total; g m⁻², BT).

Para la determinación de la calidad nutrimental de la semilla de ayocote (extracto etéreo, carbohidratos totales, contenido de nitrógeno y proteína) se realizaron con las siguientes técnicas:

Determinación de azúcares totales (Método Antrona)

Se pesaron 12.5 mg de glucosa y se disolvieron en 5 ml de agua (o 25 mg en 10 ml) para tener una concentración de 2.5 mg ml⁻¹. Esta solución se utilizó para obtener la curva de calibración para azúcares totales. Las extracciones de azúcares de semilla de ayocote con las distintas fertilizaciones nitrogenadas (N0, N50 y N100 kg de N ha⁻¹ con y sin biofertilizante), se realizó de acuerdo a Montreuil 1997. Se utilizó el método de Whitman *et al.* (1971) con algunas modificaciones, este método utiliza el reactivo Antrona en un medio ácido. El reactivo Antrona forma un compuesto verde en medio ácido fuerte (ác. Sulfúrico) en presencia de carbohidratos, esta reacción produce un derivado del furano que tiene un máximo de absorción de 620 nm. El método de extracción de azúcares de las muestras evaluadas fue en solución etanólica al 80% y se utilizó el equipo Soxhlet. Estos extractos se concentraron por evaporación hasta un volumen de 10 ml. Después, las muestras previamente diluidas 1:200 se colocaron en tubos de ensayo (300 µL), los tubos con las muestras problema y el reactivo Antrona (100 mg de Antrona en 2.5 mL de etanol absoluto y aforado a un volumen final de 50 ml con la solución de H₂SO₄ al 75 %), se mantuvieron en un baño con hielo por 10 mins, en seguida se adicionó 3 mL de solución Antrona a cada tubo con muestra problema y se agitó en vórtex ligeramente hasta lograr la homogenización de la solución y después durante 5 minutos se mantuvieron en hielo con agitación constante, se procedió a colocar las muestras en un baño María para activar la reacción durante 10 minutos a 100°C, terminado este lapso, se retiraron los tubos y nuevamente se colocaron en hielo por 5 mins para detener la reacción. Las muestras se leyeron en un lector de placas MULTISKAN-GO a 625 nm. Al mismo tiempo, para conocer la concentración total de azúcares totales, se realizó una curva de calibración para obtener una ecuación de regresión lineal con glucosa como estándar con una concentración de 2.5 mg mL⁻¹.

Determinación de Proteínas

Posterior a la cosecha de grano se determinó el contenido de nitrógeno total en la semilla de ayocote, mediante el método de Kjeldahal, modificado para incluir nitratos (Chapman y Pratt, 1979), esto se realizó en el laboratorio de Análisis de suelos del Programa de Edafología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Para calcular el porcentaje de nitrógeno en la muestra se determinó según la siguiente formula:

$$\text{Nitrógeno (\%)} = ((V \text{ muestra} - V \text{ Blanco}) \times N \text{ ácido} \times 14) / \text{muestra} \times 10$$

Dónde: V muestra= volumen del H₂SO₄ empleado para titular la muestra (mL); V blanco = volumen del H₂SO₄ empleado para titular el blanco (mL); N = normalidad exacta del H₂SO₄; 14 = peso mili-equivalente del N (mg). 10 = factor para convertir en porcentaje (1000/100).

Para desgrasar la muestra y conocer el contenido de grasas se realizó por la determinación de extracto etéreo utilizando éter de petróleo. Para calcular el porcentaje de extracto etéreo en la muestra se determinó con la siguiente formula: % de extracto etéreo = $(P-p / M) \times 100$. Donde P= masa en gramos del matraz con grasa; p = masa en gramos del matraz sin grasa; M = masa en gramos de la muestra.

A las variables en estudio, se les aplicó un análisis de varianza (ANDEVA), con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System, Versión 9.0), con una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSION

Rendimiento de grano y sus componentes

El rendimiento de grano (RG) presentó cambios significativos por efecto de la aplicación de N y de biofertilizante, asimismo, en las interacciones F x CB (Cuadro 1). Los valores más altos en RG, BT, NV se lograron con el tratamiento N150-CB, seguido de N75-CB (Cuadro 2), los cuales permitieron aumentar en 13 y 10 % el RG en relación a los tratamientos testigo (N0-SB) (Figura 1).

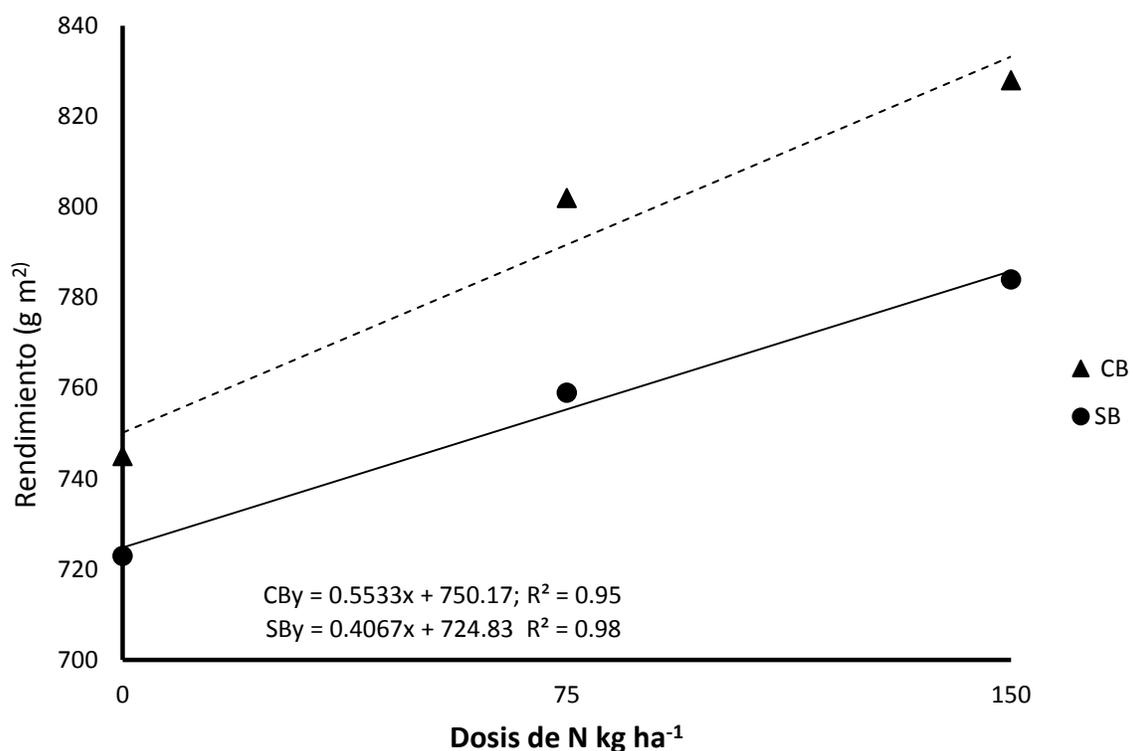


Figura 1. Rendimiento de grano de ayocote en espaldera de maíz en función de niveles de fertilización nitrogenada y biofertilizante. **= $P \leq 0.01$. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014.

Cuadro 1. Análisis de varianza del rendimiento de grano (RG), biomasa total (BT), número de vainas (NV m⁻²), número de granos (NG m⁻²) y número de granos por vaina de ayocote en espaldera de maíz en función de la fertilización nitrogenada y biofertilizante. Montecillo, Texcoco, Méx. Verano 2014.

| Factor | BT | RG | NV m⁻² | NG m⁻² | NGV |
|---------------|-----------|-----------|--------------------------|--------------------------|------------|
| N | ** | ** | ** | ** | -- |
| BIO | ** | ** | ** | -- | -- |
| N*BIO | ** | ** | -- | -- | -- |

* = $P \leq 0.05$; ** ($P \leq 0.01$) respectivamente. N= aplicación de Nitrógeno; Bio= aplicación de biofertilizante.

El incremento del RG se puede atribuir a que la aplicación de N y biofertilizante estimulo el desarrollo y el incremento del tamaño del dosel, logrando un mejor aprovechamiento del agua por la planta, que da como resultado mayor captación de radiación, producción de fotoasimilados, mayor acumulación de MS y en consecuencia mayor RG (Trejo-Téllez *et al.*, 2003). Por otro lado, el efecto positivo de la aplicación de N y biofertilizante puede relacionarse en parte al bajo nivel inicial de N inorgánico (0.10 %) y N total de 4% del suelo. Asimismo, se pudo incrementar el área radical y en consecuencia la absorción de agua y nutrimentos de la solución del suelo (Hernández, 2008). Por su parte, Santillana (2006) evaluó el efecto de biofertilizante con 3 cepas de *Pseudomonas sp.*, en cultivares de frijol, maíz, papa y tomate, señaló que la materia seca de la parte aérea (hojas) y de la raíz de plantas de frijol y maíz inoculadas con las cepas de *Pseudomonas sp.*, superaron con diferencias significativas al control inocular.

Cuadro 2. Rendimiento de grano, Biomasa total, índice de cosecha, rendimiento de grano de ayocote (*P. coccineus* L.), en espaldera con maíz, en función de fertilización nitrogenada. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014.

| N Kg ha ⁻¹ | Biofertilizante | BT g m ² | RG g m ² | NV | NG m ² | GV |
|--------------------------|-----------------|---------------------|---------------------|-------|-------------------|------|
| N 0 | CB | 1961d | 747de | 412bc | 645a | 3.0a |
| | SB | 1790e | 723e | 393c | 615ab | 3.2a |
| N75 | CB | 2115b | 802ab | 441ab | 605b | 3.0a |
| | SB | 2033c | 784c | 429b | 618ab | 3.0a |
| N150 | CB | 2214 ^a | 828a | 467a | 607ab | 3.2a |
| | SB | 2036c | 759cd | 412bc | 620ab | 3.0a |
| MG | | 2015 | 774 | 426 | 618 | 3.08 |
| Tukey 5% | | 45 | 27 | 36 | 40 | 0.7 |
| Prof.F:**<0.01 | | ** | ** | ** | -- | -- |

Niveles de fertilización N0: 0 kg ha⁻¹, N75: 75 kg ha⁻¹, N150: 150 kg ha⁻¹; CB: aplicación de biofertilizante; SB: sin aplicación de biofertilizante; BT: Biomasa Total; RG: rendimiento de grano (g m²); IC, índice de cosecha; NV: número de vainas; GV: granos por vaina; PCG: peso de cien granos (g); NG, número de granos; MG: Media General; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P <.01; indican efecto significativo.

Apáez *et al.*, (2014) evaluaron el efecto de la aplicación de biofertilizante y fertilización foliar en frijol ejotero, mencionan que dicha aplicación presentó el mayor RG (141 g m⁻²), incrementando el número de hojas verdes. Por su parte, Irizar *et al.* (2003) encontraron en frijol común (*Phaseolus vulgaris*) que la aplicación de *Rhizobium etil* + *Glomus intraradices*, reportan que el rendimiento de grano aumentó en 28% respecto al testigo.

Biomasa total

Para la biomasa, se registraron diferencias significativas para el efecto de la aplicación de N y biofertilizante (Cuadro1). Con la aplicación de N150-CB tuvo los valores más altos con respecto al testigo N0-SB, con la aplicación de N150-CB incrementaron un 19% con respecto al tratamiento N0-SB (Cuadro 3). De la misma forma, la acumulación de MS en

las estructuras de la planta registró diferencias estadísticas entre tratamientos (Figura 2). Los presentes resultados se le atribuye a la aplicación de N y biofertilizante que estimula el desarrollo de un sistema radical que dispone de mayor cantidad de nutrimentos y agua, asimismo, el tamaño del dosel vegetal (hojas, tallos) se incrementa y en consecuencia se incrementa la MS (Irizar *et al.*, 2003; Mejía *et al.*, 2011).

Cuadro 3. Acumulación de biomasa en las estructuras de la planta de ayocote (*P. coccineus* L.) en espaldera con maíz, en función de fertilización nitrogenada y biofertilizante. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014.

| N kg ha ⁻¹ | Biofertilizante | PST (g m ⁻²) | PSH (g m ⁻²) | PSV(g m ⁻²) |
|---------------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 0 | CB | 777d | 352b | 86d |
| | SB | 752d | 304c | 67e |
| 75 | CB | 810b | 407a | 96c |
| | SB | 693e | 366b | 122a |
| 150 | CB | 845a | 424a | 117ab |
| | SB | 801bc | 374b | 108b |
| | MG | 780 | 371 | 99.6 |
| Tukey 5 % | | 27 | 23 | 10 |
| Prof. F:**<0.01 | | ** | ** | ** |

Niveles de fertilización N0: 0 kg ha⁻¹, N75: 75 kg ha⁻¹, N150: 150 kg ha⁻¹; CB: aplicación de biofertilizante; SB: sin aplicación de biofertilizante; PST: peso seco del tallo (g m²); PSH: peso seco de la hoja; PSV: peso seco de valvas; Media General; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), ** P <.01; indican efecto significativo.

Lo anterior coincide con lo reportado por Apáez *et al.*, (2014), quienes mencionan que la aplicación de biofertilizante (*Glomus sp.* y *Rhizobium etil*) y fertilización foliar en frijol ejotero en espaldera de maíz, incrementan el tamaño del dosel vegetal, que a su vez incrementa la intercepción de radiación solar, la actividad fotosintética y en consecuencia un RG más elevado. Por su parte, Elkhatib (2009) evaluó el efecto de la inoculación de semillas (*Rhizobium*), fertilización nitrogenada (0, 48, 96 kg N ha⁻¹) y nutrición foliar con molibdeno (0 y 30 g Mo / l) en frijol común, los valores más altos en MS de la planta, número de vainas por planta y numero de vainas por ha⁻¹ fue con 96 kg N ha⁻¹.

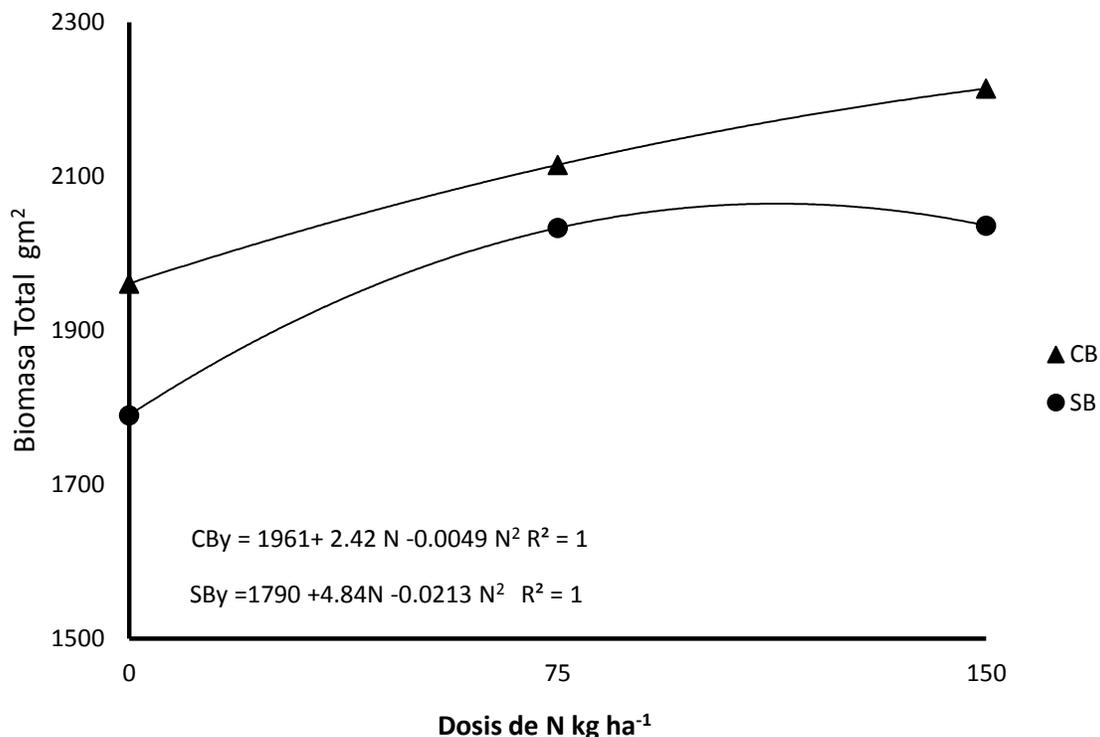


Figura 2. Biomasa total de ayocote en espaldera de maíz en función de niveles de fertilización nitrogenada y biofertilizante. **= $P \leq 0.01$. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014.

Ramana *et al.* (2010), evaluaron el efecto de los biofertilizantes MVA (micorrizas vesículo-arbuscular) y PSB (bacterias solubilizadoras de fosforo) en tres niveles (25, 50 y 75%) en la producción de frijol francés, con la aplicación de 75% de MVA (2 kg ha⁻¹) + PSB (2.5 kg ha⁻¹) observando que se incrementó la altura de la planta (32%), número de ramas por planta (16%), el área foliar (33% cm²) y el peso seco (12% g) con respecto al testigo.

Calidad nutricional del grano de ayocote

La aplicación de los niveles de N y de biofertilizante (Bio) provocó cambios significativos en el contenido nutricional de la semilla de Ayocote en espaldera de maíz (Cuadro 4). La interacción N x Bio afectó el contenido de proteínas y carbohidratos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de varianza de los componentes de calidad nutricional para semilla de ayocote en espaldera de maíz en función de la fertilización nitrogenada y biofertilizante. Montecillo, Texcoco, Méx. Verano 2014.

| Factor | Extracto etéreo (%) | Carbohidratos Totales ⁻¹ (mg g ⁻¹) | Nitrógeno (%) | Proteína (%) |
|--------------|---------------------|---|---------------|--------------|
| N | ** | ** | ** | ** |
| Bio | ** | ** | * | * |
| N*Bio | ** | ** | -- | -- |

* = $P \leq 0.05$; ** ($P \leq 0.01$) respectivamente. N= aplicación de Nitrógeno; Bio= aplicación de biofertilizante.

Los valores más altos en contenido de proteína, nitrógeno, extracto etéreo y carbohidratos totales se encontraron con N150-CB (22.2, 3.57, 2.53 % y 34 mg g⁻¹ respectivamente) (Cuadro 5), sin embargo, estadísticamente no se encontraron diferencias entre los niveles de nitrógeno con y sin biofertilizante. Los resultados obtenidos en contenido de proteína son similares a los reportados por Teniente *et al.* (2016), quienes evaluaron la influencia de la colecta en la composición química proximal en dos variedades de Ayocote (semillas de color negro y morado) reportando que la concentración de proteína de Ayocote negro (23.8%) superó al grano morado (21.9%), en contenido de grasa el ayocote de color morado (3.78%) supero al grano de color negro (3.5%). Asimismo, Álvarez y Turbay (2009) reportan para Ayocote Petaco un contenido de proteína de 23.4%. Aremu (2010) reporta para ayocote Escarlata y Blanco-Tlaxcala un contenido de 20.97% y 20.46%, respectivamente, en el presente estudio, el contenido de ayocote color violeta tuvo un contenido de de 22.2%, que esta dentro del promedio reportado por Pichardo (2010) que señala que el contenido de proteína en distintas variedades de ayocote es de 20.3 a 23.3 %de proteína. Por lo anterior, Escalante y Rodríguez, (2010) señalan que la aplicación de nitrógeno tiende a incrementar el contenido de proteína en el grano. En un análisis bioquímico del *Phaseolus vulgaris* y *P. conccineus* cultivados en México, Ortega-Delgado *et al.* (1974) encontraron variación en el contenido de proteína de 17.9 a 37.6 %. Por su

parte, Sotelo *et al.* (1995), evaluaron el contenido de proteínas en distintas especies de *P. vulgaris*, encontraron que los frijoles silvestres como el *P.coccineus* presentan mayor contenido de proteína (25.5%), contenido de ceniza (5.15%), fibra cruda (7.08%), en comparación a frijoles cultivados (proteína 21.7%, ceniza 4.14%, fibra cruda 5.04%); mientras que en el contenido de grasa y carbohidratos es mayor en frijoles cultivados (0.89 y 61.64%, respectivamente) que el contenido de *P.coccineus* (contenido de grasa 0.56 % y carbohidratos 8.05%). Estos resultados indican que el contenido nutrimental del grano del Ayocote, es afectado por cambios en la fertilización nitrogenada.

Cuadro 5. Análisis nutrimental de grano (Peso Seco) de ayocote (*P. coccineus* L.), en espaldera con maíz, en función de fertilización nitrogenada. Montecillo Méx., México. Verano-Otoño 2014.

| N Kg ha ⁻¹ | Biofertilizante | Extracto etéreo (%) | Carbohidratos Totales (mg g ⁻¹) | Nitrógeno (%) | Proteína (%) |
|-----------------------|-----------------|---------------------|---|---------------|--------------|
| N 0 | CB | 2.05c | 30.2a | 3.14b | 19.6b |
| | SB | 1.77d | 15.4d | 3.08b | 18.3b |
| N75 | CB | 2.27b | 31.3a | 3.50a | 21.9a |
| | SB | 2.12c | 15.8c | 3.48a | 21.0a |
| N150 | CB | 2.53a | 34.2a | 3.57a | 22.2a |
| | SB | 2.26b | 19.3b | 3.51a | 21.7a |
| | MG | 2.1 | 24.4 | 3.38 | 20.7 |
| | Tukey 5% | 0.09 | 3.6 | 0.21 | 1.6 |
| | Prof.F:** <0.01 | ** | ** | * | * |

Niveles de fertilización N0: 0 kg ha⁻¹, N75: 75 kg ha⁻¹, N150: 150 kg ha⁻¹; CB: aplicación de biofertilizante; SB: sin aplicación de biofertilizante; MG: Media General; letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según (Tukey $\alpha=0.05$), * ** = P <0.01 y 0.05, respectivamente; indican efecto significativo.

El contenido de proteína del presente estudio supera a lo reportado por Vargas y Muruaga (1999), quienes reportan en Ayocote un contenido de proteína de 21.1 % en base seca. Salinas *et al.* (2007) determinaron el efecto de la fecha de siembra en el RG y calidad nutricional de frijol ejotero cv “Hav-14”, reportaron los valores de proteína (28.9%) y grasa

(0.88 %) y carbohidratos solubles (47%) en peso fresco, lo cual indica que es mayor el contenido nutrimental al momento del corte . Dichos resultados son similares en contenido de proteína (24%) y carbohidratos (28%) a los resultados del presente estudio.

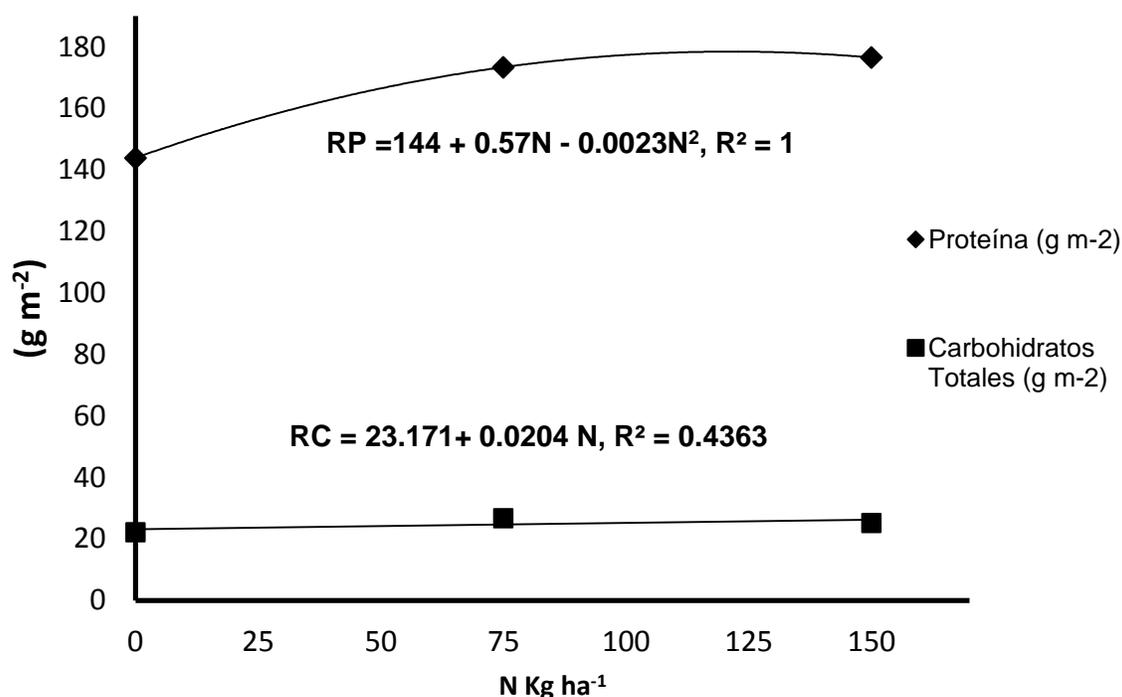


Figura 3. Rendimiento en proteína y carbohidratos del grano de ayocote en función de fertilización nitrogenada, Montecillo, Texcoco, Edo de Méx. México, verano 2014. RP= rendimiento de proteína; RC= rendimiento de carbohidratos.

Por su parte Apérez *et al.* (2014) aplicaron fertilización nitrogenada con biofertilizante en frijol ejotero, reportan que la aplicación de biofertilizane incremento el contenido de proteína (29.3 %), extracto etéreo (1.6%), carbohidratos solubles (59.9%) en peso seco de grano. Sin embargo, Wingler *et al.*, (2006) y Araya *et al.*, (2010) señalan que el contenido de carbohidratos disminuye al incrementar la fertilización nitrogenada en semilla de frijol, asimismo el contenido de carbohidratos es mayor cuando el contenido de nitrógeno en el

suelo es limitado en cultivos de frijol. Esto coincide con lo reportado por Apáez *et al.* (2016), que evaluaron el efecto de fertilización foliar y biofertilización sobre el rendimiento y calidad de vainas en frijol ejotero, teniendo incrementos en la concentración de minerales (3%) y fibra cruda (5.6%), proteína (6,8%) y carbohidratos solubles (2.8%). Sin embargo, mencionan que hay una disminución en el contenido de carbohidratos solubles. Por lo anterior, los resultados del presente estudio en comparación a los de la literatura presentan respuesta similar en cuanto al N refiere, lo cual sugiere que el ayocote es un alimento de contenido alto en proteína, carbohidratos y extracto etéreo.

CONCLUSIONES

La aplicación de nitrógeno en Ayocote sembrado en espaldera de maíz, incremento el número de vainas, número de granos, rendimiento de grano, acumulación de materia seca en cada estructura de la planta y en consecuencia la biomasa total, pero no afecta la distribución en las diferentes estructuras. El contenido de proteína, extracto etéreo y carbohidratos totales son afectados al variar el suministro de nitrógeno al suelo. La mayor concentración de proteína, extracto etéreo y carbohidratos totales, producción de biomasa y rendimiento de grano se logra con la fertilización de 150 kg de N ha⁻¹ y con biofertilizante.

LITERATURA CITADA

Apáez, B. P.; Escalante, E. J. A.; Rodríguez, G. M. T.; González, C. M. C.; Apáez, B. M. 2014. Analysis of growth and production in maize trellis with nitrogen and phosphorous. *International Journal of AgriScience*. 4(2): 102-108.

Apáez B.P.; Escalante-Estrada J.A.S; Sosa M. E.; Rodríguez-Gutiérrez M. T.; Apáez B. M.; Raya M. Y. A. (2016). Producción y calidad nutrimental de vaina del frijol chino, *Vigna unguiculata* (L) Walp, en función de arreglo topográfico y tipo de fertilización. *Rev. FCA UNCUYO*, 48 (2):31-42.

Araya T.; Ko Noguchi; Ichiro Terashima (2010). Effect of nitrogen nutrition on the carbohydrate repression of photosynthesis in leaves of *Phaseolus vulgaris* L. *J. Plant Res.* 123:371-379

Ayala G. O.J., Pichardo G. J.M., Estrada G. J. A., Carrillo S. J. A., Hernández L. A. (2006). Rendimiento y calidad de semilla de frijol ayocote en el Valle de México. *Agric. Téc. Méx.* 32, 313-321.

Chapman, H. D. y P. F. Pratt. 1979. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Trillas. México.

Elkhatib H.A. (2009) Growth and yield of common vean (*Phaseolus vulgaris* L.) in response to *Rhizobium* inoculation, nitrogen and molybdenum fertilization. *Alexandria Science Exchange Journal*, 30 (2): 319-332.

Escalante Estrada JA; Rodríguez GMT (2010). Biomasa, índice de cosecha y componentes el rendimiento en frijol y nitrógeno. *Revista Ciencias Agrícolas Informa*. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma del Estado de México. 19: 5-11.

Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T.; Escalante-Estrada Y.I. (2014). Tasa de crecimiento de biomasa y rendimiento de frijol en función del nitrógeno. *Ciencia y Tecnol. Agrop. México* 2(1):1-8.

Grageda, C. O. A.; Vermoesen, A.; Cleemput, O. V.; Peña, C. J. J. 2000. Efecto del tipo de suelo, humedad y fuentes de nitrógeno en las emisiones de N₂ y N₂O. *Terra Latinoamericana* 18: 1-9.

Hernández AF (2008) La inoculación de *Glomus* y *Bradirhizobium japonicum* en la producción de soya. *Cult, Trop.* 29: 41-45.

Irizar G. M.; Vargas V. P.; Garza, G. D.; Tut C. C.; Rojas M. I.; Trujillo C. A.; García S. R.; Aguirre M. D.; Martínez G. Y. (2003). Respuesta de los cultivos agrícolas a los biofertilizantes en la región central de México. *Agricultura Técnica de México*. 29(2): 213-225.

Mejía B. Y.; Álvarez A. M.; Luna B. G. (2011). Efectividad de un biofertilizante foliar sobre el cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris*), blue field, R. A. A. S. Ciencia e interculturalidad. 8(4): 128-140.

Morales-Rosales E, Escalante-Estrada JA, Tijerina-Chávez L, Volke- Haller V, Sosa-Montes E (2006) Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol. *Terra 24*: 55-64.

Ortega D.M.L., C. Rodríguez, E. Hernández (1974). Análisis bioquímico exploratorio de grano de los genotipos de *Phaseolus vulgaris* L. y *Phaseolus coccineus* L. cultivados en México. *Fitotecnia Latinoamericana* 10:70-74.

Ramana V.; M. Ramakrishna; K. Purushotham; K. Balakrishna Reddy (2010) Effect of bio-fertilizers on growth, yield attributes and yield of french bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Legume Research* 33 (3):178-183

Rangel Lucio J. A.; Ramírez Gamma R. M.; Cervantes Ortíz F.; Mendoza Elos M.; García Moya E.; Rivera Reyes J. G. (2014). Biofertilización de *Azospirillum* spp. y rendimiento de grano de maíz, sorgo y trigo. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Argentina.* 46(2): 231-238.

Rodríguez B.; López M. (2009). Evaluación de la fertilización biológica del frijol con cepas nativas de *Rhizobium* aisladas de un ultisol de la planicie del estado de Guárico. *Agronomía Tropical.* 59: 381-386.

Rojas-Victoria N.J.; Escalante-Estrada J.A.S.; Rodríguez-González M.T. (2015). Biomass and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.) in association with maize. *Ann. Rep. Bean. Improv. Coop.* 58:129-130.

Salinas R. N., Escalante E. J.A.S.; Rodríguez G. M. T; Sosa M. E. (2011). Yield and nutritional quality of snap bean in terms of biofertilization. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 13 (3): 347-355.

Salinas, R. N.; Escalante, E. J. A.; Rodríguez, G. M. T.; Sosa, M. E. 2012. Rendimiento y calidad nutricional del frijol ejotero en dos ambientes. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 35(4): 317-323.

Santillana Villanueva N. (2006). Producción de Biofertilizantes utilizando *Pseudomonas* sp.. *Ecología Aplicada* 5 (1,2): 87-91

SAS Institute Inc. 2011. SAS® 9.3 Guide to Software updates. Cary, NC:SAS Institute Inc.

Trejo-Téllez, L. I.; Rodríguez-Mendoza, M. N.; Alcántar-González, G.; Vázquez-Alarcón, A. (2003). Fertilización foliar específica para corregir deficiencias nutrimentales en tres tipos de suelo. *Terra Latinoamericana.* 21(3): 365-372.

Vargas V.P.; Muruaga M. (1999) Optimización y densidad de siembra de frijol ayocote *Phaseolus coccineus* var. Blanco Tlaxcala. Informe 1998. INIFAP. CIRCE. Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX). 20 p.

Wingler A, Purdy S, MacLean A, Pourtau N (2006) The role of sugars in integrating environmental signals during the regulation of leaf senescence. *J Exp Bot* 57:391–399

DISCUSIÓN GENERAL

1.- Producción de biomasa y rendimiento de ayocote asociado con diferentes cultivares

El sistema de siembra ayocote-maíz no afectó la ocurrencia de las fases fenológicas, el requerimiento térmico y la evapotranspiración de ambas especies. Para ayocote en unicultivo y en asociación (1148 a 1276 °C, respectivamente) son similares a los reportados por Cruz. (2014), el cual reporta que la UC requeridas para ayocote van desde 628 a 1440 °C día, para su desarrollo. Por otra parte, para los cultivares de maíz en unicultivo tuvieron menor requerimiento térmico (promedio de 1292 °C) para alcanzar la madurez fisiológica en comparación de los cultivares asociados con ayocote (promedio de 1403 °C día), asimismo, el híbrido HS2 requirió menos UC que los cultivares criollos coincidiendo con Sánchez *et al.* (2014), reportan que en promedio los híbridos requieren 1719°C día para alcanzar R6, lo cual contrasta con el criollo que resultó ser el más tardío ya que para alcanzar R6 a los 176 dds y 1848°C día. La distribución de la precipitación estacional (412 mm), de la cual el 59% ocurrió durante la etapa vegetativa y el 41% restante en la reproductiva, la evaporación más alta ocurrió durante la etapa vegetativa y la más baja durante la etapa reproductiva, esto indica que el período de mayor déficit hídrico se presentó durante la etapa vegetativa debido a la temperatura más alta y escasa precipitación, se observó durante la tercera decena de agosto durante la etapa de R6 (llenado de vaina para ayocote) y R9 (llenado de grano para maíz) que probablemente pudo afectar el número de grano y en consecuencia el rendimiento de grano (Salinas *et al.* (2008), Díaz-López *et al.* (2010), Delgado *et al.* (2014). Para ambos cultivos, la temperatura máxima y mínima promedio fue de 29°C y 7°C, dicho intervalo de temperatura permitió el desarrollo de ambos cultivos, Pérez (2011) y Cruz (2014), señalan que la temperatura entre los 25 y 28 °C favorece al desarrollo del cultivo de ayocote, para maíz, Aguilar (2014) y Sánchez

(2015) indican que el intervalo térmico de 18 a 22 °C es el apropiado para cultivares de maíz adaptados a los valles altos de México es en promedio de 18 a 22°C. La evapotranspiración (ETc) del cultivo de ayocote en unicultivo (374 mm d⁻¹) requiere menos días para llegar a la etapa de maduración fisiológica, en comparación al asociarlo con los cultivares de maíz (397 mm d⁻¹) requiere mayor unidades calor para llegar a madurez fisiológica, lo cual retarda algunas etapas fenológicas como la floración y el llenado de grano prolongando dicha etapas y provocando un ciclo de cultivo más largo.

Para el RG y sus componentes (NV, GV, y NG), BT e IC, el ayocote en unicultivo presentó los valores más altos en comparación a la asociación con maíz, lo anterior puede atribuirse a la competencia generada por la asociación ayocote-maíz por recursos (espacio, luz, agua y nutrimentos del suelo), (Escalante *et al.*, 2015), lo cual generó una disminución en la producción de materia seca, asimismo, Pérez (2010) y Escalante (2015) mencionan que la duración de la formación y llenado de vainas en frijol asociado es más larga que en unicultivo, ya que el rendimiento en ayocote está más relacionado con la duración del llenado de grano que con la acumulación de materia seca durante esa etapa.

En relación al maíz, el RG, NG, NGH, BT e IC en unicultivo mostró los valores más altos en comparación de los cultivares en asociación, los valores del híbrido HS-2 fueron mayores que los cultivares criollos. Lo anterior se puede atribuir a la competencia ejercida por el ayocote por recursos durante la etapa vegetativa, en la asociación con ayocote la acumulación de materia seca disminuye durante el llenado de grano (Pérez *et al.*, 2013). Rojas *et al.* (2015) reportan que la duración de formación de grano en maíz tiende a ser menor con respecto al unicultivo, sin embargo, durante la etapa de llenado de grano la translocación de fotoasimilados tiene mayor duración, pues coincide con la etapa de madurez fisiológica del ayocote. En la eficiencia en el uso del agua (EUA), el ayocote en

unicultivo mostró mejor eficiencia que en asociación con maíz. El cultivo de ayocote fue afectado por dicha asociación, pues los valores de EUA son considerados bajos, lo cual indica que dicho cultivo requiere de mayor área de cobertura en el terreno para incrementar la eficiencia en el uso de los insumos para la producción de biomasa. Lo anterior concuerda con lo reportado por Escalante-Estrada (1995) quienes señalan que una mayor EUA está relacionada con la producción de una temprana cobertura del dosel vegetal generada por el cultivo combinado generando disminución en la evaporación del agua del suelo. Por su parte, Delgado *et al.* (2014), Albino *et al.* ,(2015) y Ebel *et al.*, (2017) señalan que la competencia por el agua en la asociación maíz-frijol es más durante la floración del frijol, pues el maíz acumula la mayor cantidad de materia seca para entrar a la etapa de floración del maíz, asimismo, el estrés hídrico durante la etapa reproductiva influyo en el abatimiento en el NG y NH.

El crecimiento del dosel, el ayocote en unicultivo tuvo valores más altos en el NHV, IAF y DAFT en comparación a la asociación con los cultivares de maíz, para cultivos de maíz mostraron tendencias similares, el maíz en unicultivo supera en NHV, IAF y DAFT a los cultivares asociados con ayocote. Lo anterior se puede atribuir, que durante el ciclo de cultivo las plantas de ayocote en unicultivo desarrollaron un dosel mayor que las plantas en asociación, las plantas en asociación al tener competencia por recursos (espacio luz, agua y nutrimentos) con el maíz desarrollaron un dosel de menor tamaño (Escalante *et al.* 2001). Para los cultivos de maíz, el híbrido HS2 tuvo valores superiores a los cultivares criollos en unicultivo como en asociación. Lo anterior se puede atribuir que el híbrido desarrollo un dosel más amplio el cual pudo captar mayor cantidad de radiación solar lo cual se refleja en el incremento de producción de BT, asimismo, dicho dosel del maíz pudo sombrear al dosel del ayocote provocando una disminución en el crecimiento del mismo.

Para el análisis de crecimiento, la dinámica de la TAN y TCC, ayocote y maíz en unicultivo superaron a los cultivos asociados, en ambos casos la TAN tuvo los valores más altos durante los primeros 30 a 60 dds, la tendencia a disminuir conforme avanzó el ciclo de desarrollo de los cultivos hasta llegar a madurez fisiológica. La disminución de la TAN a través del ciclo de cultivo se puede atribuir a que el cultivo de ayocote incremento su dosel en las primeras fases de crecimiento y desarrollo de las hojas, el cual fue disminuyendo hasta llegar a la etapa reproductiva y llenado de grano, coincidiendo con el inicio de la senescencia de las hojas (Escalante *et al.* 2015). Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Ghodrati *et al.* (2013), señalan que la TAN en maíz es alta cuando las plantas están en los primeros días de emergencia la mayoría de las hojas están expuestas a la radiación solar en forma directa, conforma el cultivo crece y el IAF se incrementa, los valores de la TAN disminuyen. Por otra parte, la disminución de la TAN después de alcanzar sus valores máximos, la capacidad fotosintética tiende a disminuir continuamente con el crecimiento y expansión del dosel, y puede cesar en el momento en que las plantas alcanzan su máxima área foliar. La dinámica de la tasa de crecimiento de cultivo (TCC), para ayocote y maíz en unicultivo tuvo la mayor acumulación de materia seca por día (60 a los 90 dds) en comparación a los tratamientos en asociación, la TCC fue disminuyendo hasta llegar a madurez fisiológica a los 120 dds. Esto se puede atribuir a que cuando se siembra en asociación ayocote-maíz existe una disminución en la acumulación de MS debido a la competencia interespecífica, siendo el ayocote el más afectado (Delgado *et al.*, 2014). La producción de BT, acumulación y su distribución en los órganos de la planta en ayocote en unicultivo y en asociado se incrementó de forma gradual conforme avanzó el desarrollo del cultivo llegando a sus valores más altos a los 90 dds, la materia seca acumulada en el cultivo asociado fue menor a la del unicultivo. Los órganos con mayor

acumulación de MS fueron el tallo, hojas y grano para ayocote. Para los cultivares de maíz tuvieron tendencias similares a las del ayocote, el maíz en unicultivo y en asociación las estructuras con mayor acumulación de MS fueron las hojas y el tallo. La producción de BT puede atribuirse al desarrollo y tamaño del dosel durante las primeras etapas del cultivo, al llegar a la etapa de llenado de grano y madurez fisiológica, la acumulación de MS en hojas tiende a disminuir debido a la redistribución de fotoasimilados hacia otros órganos en crecimiento, llenado de grano lo cual lleva a la senescencia de las hojas.

2.- Análisis de crecimiento, producción, rendimiento y calidad de semilla de ayocote asociado con maíz en función del número de plantas y fertilización nitrogenada.

En la asociación ayocote-maíz los cambios en el número de plantas por mata de ambos cultivos, afectan la BT, IC RG y sus componentes tanto para ayocote como maíz. La combinación para lograr la mayor BT, RG e ingreso neto se logró con tres plantas de ayocote y una de maíz. Lo anterior se puede atribuir a que mayor NPM contra una planta de ayocote por mata pudo generar una mayor competencia por espacio, radiación solar, agua y nutrientes, que condujo a una producción de ayocote más baja. Por otra parte, para maíz los valores de BT se lograron con tres plantas de maíz y una de ayocote. Esta diferencia en BT entre tratamientos se puede atribuir a la capacidad del maíz para captar la energía solar (Escalante *et al.* 2006) pues al incrementar la densidad de población, se aumenta el IAF; con esto la cantidad de radiación interceptada y en consecuencia la producción de BT, así como la competencia por radiación y recursos generada por el número de plantas de maíz (Escalante *et al.*, 2006; Garduño *et al.*, 2009). Los cambios en el número de plantas de ayocote y maíz no afectaron la acumulación de MS en las estructuras de las plantas ni la distribución hacia el grano. Lo anterior se puede atribuir a que el maíz es más competitivo

que el frijol, el cual desarrolla un dosel más amplio que el ayocote, logrando mayor captación de radiación y producción de fotoasimilados, generando mayor acumulación de MS, asimismo, los fotoasimilados y MS son exportados a los órganos de interés económico, en este caso a la formación y llenado de grano. El análisis económico del cultivo de ayocote y de maíz se puede atribuir a que el incremento del número de planta de maíz genera mayor competencia interespecifica con las plantas de ayocote, disminuyendo el RG. Asimismo, los tratamientos con mayor número de plantas de ayocote pueden desarrollar mayor cobertura del dosel que le permite captar mayor radiación solar, generando MS que se destina a la formación de vainas y llenado de grano (Escalante y Rodríguez *et al.* 2011).

La aplicación de nitrógeno durante el ciclo de cultivo del ayocote sembrado en espaldera de maíz, incremento el número de hojas, así como el índice y duración del área foliar, produciendo mayor MS aumentando el RG, acumulación de materia seca en cada estructura de la planta y en consecuencia mayor BTI, pero no afecta la distribución en las diferentes estructuras. Con la aplicación de 150 kg N ha^{-1} se incrementa la BT y RG, el NG y NV tuvieron incrementos de 10 y 17%, respectivamente, en relación al testigo. La respuesta en la BT con la aplicación de niveles de fertilización de N se puede atribuir a que dicho fertilizante estimula el tamaño de dosel vegetal, lo cual aumenta la intercepción de radiación solar y fotosíntesis, dando como resultado en mayor acumulación de MS, asimismo, con la aplicación de N al suelo se puede incrementar el número de vainas, número de granos y consecuentemente en rendimiento de grano (Escalante *et al.*, 2011; Escalante *et al.*, 2013). El NHV, IAF y DAFT se incrementaron conforme avanzó el ciclo de cultivo, lo anterior indica que la aplicación inicial de N fue suficiente para satisfacer el requerimiento para el crecimiento y desarrollo inicial del dosel vegetal del cultivo. El

análisis de crecimiento, el ayocote con aplicación de N150 presentó una TAN mayor con respecto al testigo (N0), sus valores máximos se registraron a los 60 dds, posteriormente disminuyó conforme avanzó el ciclo de desarrollo del cultivo hasta llegar a madurez fisiológica, lo anterior se puede atribuir al autosombreado del cultivo por el incremento del tamaño del dosel vegetal, así como el aumento de la senescencia de las hojas (Apáez *et al.*, 2013; Delgado *et al.*, 2015). La dinámica de la TCC en el cultivo de ayocote asociado con maíz tuvo valores máximos a los 90 dds, con la aplicación de N150 kg N ha⁻¹ se incrementa la BT y RG. El aumento de la TCC con la aplicación de N se relaciona con mayor tamaño de dosel vegetal, el cual se relaciona con mayor acumulación de biomasa y rendimiento de grano más alto (Escalante *et al.*, 2013). La mayor acumulación de materia seca fue durante la etapa vegetativa, se puede atribuir a la distribución de la precipitación, la cual fue mayor durante esta etapa y contribuyó al desarrollo del dosel. La producción, acumulación y distribución de BT sugiere que con la fertilización nitrogenada estimula el tamaño del dosel vegetal, aumenta la radiación solar interceptada y en consecuencia se logra mayor producción de MS, la acumulación de MS en las estructuras de la planta fue afectada por la aplicación de N, el tallo y el grano fueron las estructuras con mayor acumulación de materia seca, lo anterior puede atribuirse a que la aplicación de N estimula el desarrollo y crecimiento de estructuras vegetativas (hojas y tallo) dichas estructuras al tener mayor área de cobertura logran captar más radiación solar incrementando la fotosíntesis, destinando los fotoasimilados a la formación y llenado de grano.

La aplicación de nitrógeno y biofertilizante en ayocote sembrado en espaldera de maíz, incrementó el rendimiento de grano y sus componentes, la biomasa total, pero no afectó la distribución de materia seca en las diferentes estructuras de la planta. El contenido de proteína, extracto etéreo y carbohidratos totales son afectados al variar el suministro de

nitrógeno al suelo. Los valores más altos en RG, BT, NV se lograron con el tratamiento N150-CB, así como la distribución de MS de las estructuras de la planta se incrementó un 19% con respecto al testigo. El incremento del RG se puede atribuir a que la aplicación de N y biofertilizante estimulo el desarrollo e incremento del tamaño del dosel, logrando un mejor aprovechamiento del agua por la planta, que da como resultado mayor captación de radiación, producción de fotoasimilados, incrementando la MS y en consecuencia el RG. Escalante y Rodríguez (2010) señalan que la aplicación de nitrógeno tiende a incrementar el contenido de proteína en el grano., Por su parte, Araya *et al.* (2010) señalan que el contenido de carbohidratos disminuye al incrementar la fertilización nitrogenada en semilla de frijol, asimismo el contenido de carbohidratos es mayor cuando el contenido de nitrógeno en el suelo es limitado en cultivos de frijol.

CONCLUSIONES GENERALES

Los componentes de rendimiento y materia seca del ayocote asociado presentan cambios en relación al cultivar de maíz. El ayocote en unicultivo presentó mayor rendimiento de grano y acumulación de materia seca que la siembra asociada con maíz. La asociación ayocote con maíz HS2 supera a la asociación con maíces criollos o nativos.

La acumulación y distribución de materia seca en los órganos de la planta de ayocote es afectada por la asociación con el maíz. El ayocote en unicultivo y la asociación con el híbrido HS2 presentaron mayor acumulación de materia seca y su distribución en las estructuras de la planta.

El aumento en la densidad de población del ayocote (12 plantas m⁻²) incrementó la producción de materia seca y rendimiento de grano. La mejor combinación para lograr un mayor rendimiento de grano, producción de biomasa e ingreso neto se logró con tres plantas de ayocote y una de maíz.

La aplicación de nitrógeno en el sistema ayocote asociado con maíz incrementó el área foliar, tasa de crecimiento, acumulación de materia seca total y rendimiento de grano del ayocote. Asimismo, la aplicación de nitrógeno incrementó la eficiencia en el uso del agua, y la eficiencia agronómica del cultivo.

La aplicación de biofertilizante y 150 kg de N ha⁻¹, logró incrementar la materia seca, rendimiento de grano y sus componentes, asimismo, el contenido de proteína, extracto etéreo y carbohidratos totales en el grano de ayocote.