



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Instituto de Ciencias
Centro de Agroecología
Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

PRODUCTIVIDAD FORRAJERA DE *Vicia faba* L.
BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE
MANEJO.

TESIS

Que para obtener el grado de
Maestra en Manejo Sostenible de Agroecosistemas

Presenta

CARMEN ROSANA ESTRADA AVILA

Director de la Tesis

JESÚS JARILLO RODRÍGUEZ

Puebla, Puebla

Noviembre 2014



BUAP

La presente tesis, titulada: **Producción y calidad nutritiva de Vicia faba (L.), a diferentes condiciones de manejo del cultivo**, realizada por la alumna **Biól. Carmen Rosana Estrada Ávila**, bajo la dirección del Comité Tutorial indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN
MANEJO SOSTENIBLE DE AGROECOSISTEMAS

COMITÉ TUTORAL:

DIRECTOR: _____

Dr. Jesús Jarillo Rodríguez

CODIRECTOR: _____

Dr. Agustín Aragón García

ASESOR: _____

Dr. José Cinco Patrón Ibarra

ASESOR: _____

Dr. Dionicio Juárez Ramón

REVISOR EXTERNO: _____

Dr. Edgar Meraz Romero

Puebla, Pue., noviembre de 2014.



Éste trabajo de investigación fue realizado dentro del marco de apoyo económico que el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) otorga como beca a mis estudios de maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas, en el Centro de Agroecología, del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, cursado durante el periodo que comprende de agosto 2012 a julio de 2014.

Manifiesto mi reconocimiento al CONACyT por su destacada labor en la formación de recursos humanos y el impulso de la investigación agroecológica en México.

Carmen Rosana Estrada Avila.
Puebla, Pue. Noviembre de 2014

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

Al Dr. Jesús Jarillo Rodríguez por su paciencia y valiosa contribución al presente trabajo.

Al CEIEGT, el clarín de la UNAM por la facilidades prestadas.

A mis maestros, por su atención, paciencia y lecciones, a mis compañeros por el intercambio de experiencias y conocimientos, así como las horas amenas en este camino emprendido.

A las personas que me apoyaron para realizar esta investigación, en especial a Ernesto y Reina Lozada Cano, Bernardo Parraguirre, Juana Margarita de Parraguirre.

DEDICATORIA

A mi familia que es el motor de mi vida.

A mis hijos, que siempre estarán en mi corazón.

A mi madre que siempre ha sido un ejemplo de profesionalismo.

A mi padre que es ejemplo de paciencia y lucha.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	III
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
2. 1 CAMBIO CLIMÁTICO Y SEGURIDAD ALIMENTARIA	2
2.2 CULTIVO DE <i>VICIA FABA</i> L.	4
2.2.1 ORIGEN Y CARACTERIZACIÓN	4
2.2.2 IMPORTANCIA DE LA ESPECIE EN LOS AGROECOSISTEMAS	6
2.2.3 ESTADÍSTICAS DE PRODUCCIÓN	7
2.2.4 DINÁMICA DE CRECIMIENTO Y ABSORCIÓN DE NUTRIENTES	8
2.2.5 PRODUCTIVIDAD Y COMPONENTES DEL RENDIMIENTO FORRAJERO	11
2.2.6 PREPARACIÓN DE SUELO Y RENDIMIENTO DE LA ESPECIE.....	12
2.2.7 EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN SOBRE LA PRODUCTIVIDAD	14
2.2.8 INTERACCIÓN RENDIMIENTO DENSIDAD DE SIEMBRA.....	16
2.2.9 EFECTO DE LOS MATERIALES ORGÁNICOS EN LA NODULACIÓN.	17
2.2.10 DIVERSIDAD DE ENTOMOFAUNA ASOCIADA AL CULTIVO DE <i>VICIA FABA</i> L.....	19
2.2.11 LA ACTIVIDAD DE LA MESOFAUNA DEL SUELO	20
III JUSTIFICACIÓN	24
IV OBJETIVOS	25
4.1 OBJETIVO GENERAL	25
4.2 OBJETIVOS PARTICULARES	25
V HIPÓTESIS	26
VI. METODOLOGÍA	27
6.1 DISEÑO EXPERIMENTAL	28
6.2 VARIABLES ANALIZADAS	29
6.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	31
VII RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
7.1 FENOLOGÍA DEL CULTIVO POR EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS.....	35
7.2 CRECIMIENTO DEL CULTIVO.....	35
7.3 RENDIMIENTO DEL CULTIVO Y SUS COMPONENTES	37
7.4 DIVERSIDAD DE ENTOMOFAUNA ENCONTRADA	41
7.5 MESOFAUNA ENCONTRADA EN EL SUELO.....	44
VIII CONCLUSIONES	48
IX RECOMENDACIONES	49
X LITERATURA CITADA	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio	28
Figura 2.Descripción del diseño bloques al azar en parcelas subdivididas.....	30
Figura 3. Curva de crecimiento, de <i>Vicia faba</i> L.....	37
Figura 4 A. Tasa de crecimiento en cm día ⁻¹ , de <i>V. faba</i> L. por efecto de la preparación de suelo. (Labranza mínima).	35
Figura 4 B. Tasa de crecimiento en cm día ⁻¹ , de <i>V. faba</i> L por efecto de la preparación de suelo. (Preparación completa)	36
Figura 5. Efecto de los tratamientos sobre la materia seca (MS) del ejote.	40
Figura 6.Efecto de los tratamientos sobre el número de ácaros.	45
Figura 7.Efecto de los tratamientos sobre el número de colémbolos.....	46

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamientos	29
Cuadro 2.Medias mensuales de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) y precipitación total mensual (pp).....	34
Cuadro 3.Composición química del suelo de la parcela experimental.	34
Cuadro 4. Producción de materia seca (MS) de hojas y materia seca total	39
Cuadro 5.Listado de entomofauna asociada al cultivo de <i>Vicia faba</i> L.	42
Cuadro 6. Matriz de correlación de las especies asociadas al cultivo de <i>Vicia faba</i> L.;.....	43

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar diferentes condiciones de manejo del cultivo sobre la productividad de *Vicia faba* L., en Zaragoza, Puebla. El experimento se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano 2013. Se estudiaron tres factores de variación: 1) labranza (preparación completa y labranza mínima), 2) aplicación de composta (17.8 t ha⁻¹ y sin composta) y 3) densidades de siembra (4, 6, 8 y 16 plantas por m²). El diseño experimental correspondió a bloques al azar con arreglo en parcelas subdivididas, se ajustó una regresión polinomial $y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2$ a los datos de altura mediante el programa Statgraphics Centurion, el comportamiento de la tasa de crecimiento diaria se analizó con PROC MIXED de SAS (1999), los datos de materia seca se analizaron con PROC GLM de SAS (1999), los datos de diversidad de entomofauna se analizaron mediante un ANOVA entre los índices de Margalef y de Shannon mediante Statgraphics Centurion XVI.I, posteriormente se realizó una correlación de Spearman mediante el procedimiento CORR de SAS (1999). No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en el rendimiento de materia seca de grano, ni por efecto de la preparación del suelo ni por la aplicación de composta. Se observó que la producción de materia seca se incrementó ($P < 0.05$) en función de las densidades (4, 6, 8 y 16 plantas por m²) de 2.76±0.6 a 2.93±0.65; de 3.30±0.89 a 4.09±0.89; de 4.82±0.68 a 5.59±0.98; y de 8.78±1.44 a 10.15±1.9 t ha⁻¹ de materia seca total, respectivamente. Se observó una correlación con una relación positiva directa significativa ($P < 0.05$) entre *Aphis fabae* (Scop.), y *Coccinella* sp. Se encontró una correlación entre *Cerceris arenaria* L., *Macroductylus* sp., *Boisea*

trivittata (Say), *Lygaeus equestris* (Solb.). En el cultivo de *V. faba* L. en la región de Zaragoza, Puebla, México, se puede aplicar la labranza mínima como sistema de preparación del suelo, sin que esto afecte el rendimiento del cultivo. La aplicación de composta puede emplearse como estrategia de mejoramiento de suelos, sin embargo ésta debe ser programada y evaluada por largos periodos de tiempo. El incremento de la densidad de siembra puede ser una opción para elevar los rendimientos por unidad de superficie. El manejo adecuado del cultivo de *V. faba* L. y la generación de estrategias para el fomento de la biodiversidad funcional pueden elevar los rendimientos de la especie y mejorar las condiciones ecológicas del agroecosistema, brindando mejores beneficios económicos a los productores.

Palabras clave: Haba, labranza, composta, densidad de plantas, biodiversidad.

ABSTRACT

This study objective's was to evaluate different conditions of crop management on yield of *Vicia faba* L., in Zaragoza, Puebla. The experiment was established during the 2013 spring-summer crop season. Three variation factors were studied: 1) tillage (conventional tillage and minimum tillage), 2) compost application (17.8 t ha⁻¹ and without compost), and 3) population densities (4, 6, 8 and 16 plants per m²). The experimental design was randomized blocks with split plots, a polynomial regression $y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2$ was adjusted to the height data using the program Statgraphics Centurion, the behavior of the daily rate of growth was analyzed with PROC MIXED of SAS (1999), the data of dry matter were analyzed using PROC GLM of SAS (1999), data from insect diversity were analyzed by ANOVA among the indices of Margalef and Shannon by Statgraphics Centurion XVI.I subsequently Spearman correlation was performed using SAS CORR procedure (1999). No significant differences (P<0.05) were found in the dry matter yield of grain by the effect of tillage. There was no effect of compost application on the yield of the species. The crop biomass grown (P<0.05) under increasing density; 4, 6, 8 and 16 plants per m², produced ranges of total dry matter between 2.76 ± 0.62 to 2.93 ± 0.65; 3.30 ± 0.89 to 4.09 ± 0.89; 4.82 ± 5.59 ± 0.68 to 8.78 ± 0.98; and 1.44 ± 1.90 a10.15 ± 1.9 t ha⁻¹, respectively. A correlation with a significant direct positive relationship (P<0.05) between *Aphis fabae* (Scop) and *Coccinella* sp was observed. We found a correlation between *Cerceris arenaria* L., *Macroductylus* sp., *Boisea trivittata* (Say), *Lygaeus equestris* (Solb). In the region of Zaragoza, Puebla, Mexico, minimum tillage can be applied in *Vicia faba* L. cultivation, without affecting

crop yield. The application of compost can be used as soil improvement strategy, however it must be evaluated over time. Increasing the seeding rate can be a good option to increase production yields per unit area. Proper crop management of *Vicia faba* L. and generating strategies for promoting functional biodiversity can increase yields of the species and improve agroecosystem's ecological conditions, providing better economic benefits to peasants.

Keywords: Bean, tillage, compost, plant density, biodiversity.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el municipio de Zaragoza, Puebla, se observó que el 58.2% de la población total se encuentra en situación de pobreza, (CONEVAL, 2010). En lo que respecta a la producción agrícola según datos del SIAP, en 2011, en el distrito de Teziutlán, Puebla, se cultivó una superficie de 1610 ha de haba en grano con un rendimiento promedio de 0.44 t ha^{-1} , este hecho nos habla de que a pesar de que *Vicia faba* L. cuenta con un alto potencial productivo, nutritivo y económico, en la región de la sierra norte del estado de Puebla, la tecnología agrícola no está siendo apropiada para los productores de haba, por lo que no se ha desarrollado un manejo eficiente del cultivo que permita potenciar los beneficios ecológicos, económicos y sociales de la especie, lo cual repercute en rendimientos bajos. Por lo anteriormente mencionado es interés del presente estudio conocer ¿Cómo afecta el manejo agronómico (preparación del suelo, la densidad de siembra y la fertilización) el rendimiento de *Vicia faba* L? y ¿Cuál es la mejor combinación de estos factores (accesible a los productores) que permita elevar la productividad y asegurar la sustentabilidad del manejo del cultivo?

II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 CAMBIO CLIMÁTICO Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

En los últimos años se ha observado un cambio climático propiciado por factores humanos y biofísicos. Los efectos de éste cambio han sido experimentados por los sistemas biológicos así como en los procesos ecológicos, generando cambios en la estructura y función de los ecosistemas, y limitando gravemente el desarrollo humano sostenible especialmente en el sector agrícola (Lorente *et al.*, 2004). Este hecho aunado a la creciente demanda de alimentos, pone en riesgo la sostenibilidad de los sistemas agrícolas, así como, el derecho fundamental de los individuos a la alimentación, pues se estima que para 2050 alimentar a la población mundial requerirá un aumento del 70% de la producción agrícola total (Nelson *et al.*, 2009).

A pesar de que la alimentación es un derecho inalienable, y de las numerosas políticas públicas encaminada a elevar la productividad agrícola, no se ha logrado disminuir la marginación y la pobreza rural (Koohafkan, 2010). Resulta entonces evidente que aún en extensiones grandes, el paradigma tecnológico de la revolución verde no es sustentable, pues constituye un modelo fuertemente dependiente del petróleo e insumos agroquímicos, siendo una de las principales actividades que generan no sólo inequidad social, sino efectos ambientales graves como el aumento en la emisión de gases de efecto invernadero, alta erosión edáfica, contaminación de suelo y agua, así como pérdida de biodiversidad (Altieri y Toledo, 2011).

El fracaso de éstos modelos sobre la seguridad alimentaria, se debe principalmente a que los esquemas de producción no han sido capaces de alterar la distribución del poder y la riqueza, en especial en lo referente al acceso a tierras, es decir si no se abordan las cuestiones sociales relacionadas con los beneficios que el acceso a las tecnologías de la revolución verde, por tanto su introducción en cualquier sistema social irá a favor de los ricos y en contra de los pobres (Rosset *et al.*, 2004). Como frente a esta situación, en los últimos años se ha incrementado el interés a nivel mundial de desarrollar estrategias de manejo que permitan obtener los beneficios máximos de los cultivos sin poner en riesgo el futuro de los sistemas agrícolas (Confalone, 2008). En este sentido desde el punto de vista del manejo Altieri y Nichols (1994) señalan que los componentes básicos de un agroecosistema sustentable incluyen; la conservación de suelo y agua, (prácticas de labranza cero, mulches y coberteras); la suplementación regular de materia orgánica (la aplicación de compostas, abonos orgánicos y desarrollo de la actividad biótica del suelo); mecanismos de reciclado de nutrientes (rotación de cultivos, policultivos basados en leguminosas, sistemas agroforestales); así como la regulación de plagas y enfermedades, (estimulación de agentes de control biológico y manipulación de la biodiversidad).

Por lo anterior y en un contexto mundial donde los costos energéticos son cada vez más elevados, el papel de las leguminosas está siendo revalorado dentro la agricultura sostenible, dado que ésta familia botánica ha mantenido la producción y fertilidad de los sistemas agrícolas desde la antigüedad mediante la fijación biológica de nitrógeno en el suelo, y han sido especies clave en el combate

y manejo de plagas, enfermedades y malas hierbas, mediante la rotación de cultivos (Confalone, 2008).

En lo que respecta a especies que contribuyen a la seguridad alimentaria de las familias campesinas, el haba (*Vicia faba* L.) cumple con un papel importante dentro de los agroecosistemas, por su tolerancia a las sequías y bajas temperaturas, fijación del nitrógeno en el suelo, su alto valor nutritivo, uso como forraje, abono verde y mercancía, así como su desarrollo ante una alta diversidad de especies (Bautista *et al.*, 2008).

2.2 CULTIVO DE *Vicia faba* L.

2.2.1 Origen y caracterización

Vicia faba L. se ha cultivado desde tiempos neolíticos por lo cual está considerada entre los cultivos más viejos del mundo, es la tercera leguminosa de grano más importante en el mundo después de la soya (*Glycine max* L.) y el chícharo (*Pisum sativum* L.); la especie es asignada a los centros de diversidad de Asia central, el Mediterráneo y Sudamérica, se cree que es nativa del norte de África y sureste de Asia (Duc, 1997; Singh *et al.*, 2013).

El centro de origen de *V. faba* corresponde al cercano Oriente y se observan cuatro radios hacia Europa, a lo largo de la costa este de África hacia España, a lo largo del Nilo hacia Etiopía, y de Mesopotamia hacia India (Cubero, 1974). Se considera a la subespecie *Vicia paucijuga faba*, actualmente distribuida de Afganistán a la India, como una forma primitiva, sin embargo el origen exacto así

como en antecesor de la especie siguen siendo desconocidos (Duc, 1997; Singh *et al.*, 2013).

Las variedades de semilla grande con un peso de 1000 semillas de más de 1 kg se han desarrollado en los países del sur del Mediterráneo y China. Estos tipos se expandieron en el siglo XVI hacia México y América del Sur. La especie corresponde a una planta anual que requiere condiciones frías para obtener el mejor desarrollo, en latitudes septentrionales se siembra en primavera, mientras que en zonas templado cálidas se siembra en invierno (Duc, 1997).

La clasificación del *Vicia faba* L. de acuerdo con (Goyoaga, 2005) es:

División Spermatophyta,

Subdivisión Angiospermae,

Clase Dicotyledoneae,

Subclase Rosidae,

Orden Fabales,

Familia Fabaceae,

Tribu Vicieae,

Género *Vicia*.

Especie *Vicia faba* L.

Es una planta anual, que requiere de condiciones frías para su mejor desarrollo, su porte es recto y su sistema radicular muy desarrollado (Duc, 1997).

La especie presenta tallos de coloración verde, fuertes, angulosos y huecos, ramificados, los cuales llegan a alcanzar hasta los 1.5 m de altura; el ahijamiento de la planta varía según el cultivar; las hojas son alternas, compuestas, paripinnadas, con folíolos anchos ovals-redondeados, de color verde y desprovistas de zarcillos; las flores son axilares, agrupadas en racimos cortos de 2

a 8 flores, poseen una mancha grande de color negro o violeta en las alas, que raras veces van desprovistas de mancha; los frutos corresponden a vainas de longitud variable, pudiendo alcanzar hasta más de 35 cm; el número de granos oscila entre 2 y 9; el color de la semilla es verde amarillento, aunque el color varía según el cultivar (Duc, 1997; Rojas, 2011).

2.2.2 Importancia de la especie en los agroecosistemas

La especie, se distribuye más uniformemente en todo el mundo que otras leguminosas de grano, puede ser utilizada en diversas formas y tiene una considerable importancia como un alimento de bajo costo rico en proteínas y carbohidratos (Chaieb *et al.*, 2011; Bolland, *et al.*, 2000). Constituye un cultivo con alto potencial económico dado a que con un manejo adecuado y meticuloso, los rendimientos de grano pueden llegar a ser de 6 a 7 t ha⁻¹, lo cual la convierte en una especie que puede elevar los ingresos de los productores (Bergareche *et al.*, 1988; Saxena *et al.*, 1991; Escalante y Rodríguez, 2011).

Los principales beneficios ambientales del cultivo de haba son su capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico en simbiosis en un amplio espectro de condiciones ambientales y hacer de este recurso renovable disponible para mostrar efectos precultivo positivos en la rotación de cultivos diversificados, que conllevan beneficios potenciales a través de una mayor disponibilidad de fósforo en el suelo para los cultivos posteriores. El haba actúa como un cultivo de descanso en la rotación de cultivos intensivos de cereales (Köpke y Nemecek, 2010).

En otros países se ha observado que el cultivo de cereales en alternancia con el barbecho desnudo ha explotado los recursos limitados de los suelos agotándose parte de su fertilidad, las políticas públicas basadas en el cultivo de cereales en rotación con leguminosas anuales han incrementado la superficie de cultivo y los rendimientos, ya que se estima que la especie puede llegar a fijar de 100 a 120 kg de N ha⁻¹ por ciclo (Confalone, 2008).

Otro hecho que es importante señalar consiste en que el haba permite la diversificación del agroecosistema, es decir, la biodiversidad planificada en el tiempo a través de la rotación de cultivos diversificados y en el espacio a través de cultivos asociados, aumentando indirectamente la diversidad asociada de la flora silvestre, la fauna silvestre y los microbios del suelo que pueden afectar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Sin embargo, la mayoría de los efectos son indirectos sobre la fertilidad del suelo, la productividad y la estabilidad del sistema, así como la capacidad de recuperación de los agroecosistemas enteros, efectos que rara vez se puede atribuir exclusivamente a este cultivo (Köpke y Nemecek, 2010).

2.2.3 Estadísticas de producción

La superficie mundial cultivada de habas en el año 2013 fue de aproximadamente 30.8 millones de hectáreas de los cuales cerca del 95.12% se dedicaron a la producción de grano y el resto a legumbre (1.5 millones de ha y 0.856 t ha⁻¹). México ocupó el quinto lugar a nivel mundial de superficie sembrada con un total de 1.5 millones de ha de grano, colocándose debajo de Albania, India, Myanmar, y

Brasil; sin embargo el rendimiento fue de 0.69 t ha^{-1} colocándose en el lugar noventa y cinco con respecto a éste parámetro. Lo anterior indica que a pesar de contar con una superficie significativa no se están obteniendo buenos rendimientos para la especie en el país comparado con Barbados, Bélgica e Irlanda que reportan 6, 4.7 y 3.9 t ha^{-1} respectivamente (FAOSTAT, 2014).

En México el cultivo de haba en grano ha ido en aumento, especialmente en lo que respecta a la superficie, pasando de 18,831.00 ha en 1981 a 20,737.50 en 2005 y 24,904.60 en 2012. En 2012 el estado de Puebla ocupó el primer lugar a nivel nacional por superficie sembrada con un total de 15,911.00 ha y reportó un rendimiento de 1.01 t ha^{-1} , colocándose en el 1 lugar nacional (SIAP, 2014).

En lo que respecta al distrito de Teziutlán, Puebla, en 2012 se cultivó una superficie de 2370 ha de haba en grano con rendimiento promedio de 0.51 t ha^{-1} , mientras que en el municipio de Zaragoza se cultivaron 330 ha con rendimiento del 0.49 t ha^{-1} (SIAP, 2014). Lo anterior nos indica que a pesar de que la especie cuenta con un alto potencial económico, social y ambiental, la especie no está siendo aprovechada de forma óptima.

2.2.4 Dinámica de crecimiento y absorción de nutrientes

En su nutrición, las leguminosas emplean dos fuentes principales de nitrógeno, el nitrógeno del suelo y el nitrógeno atmosférico, cuando se agotan las reservas del cotiledón y antes de la formación de nódulos el nitrógeno disponible en el suelo es la única fuente para las plántulas; el periodo de intenso crecimiento vegetativo y el llenado de vaina son momentos de fuerte demanda nitrogenada, sin embargo la

aplicación de nitrógeno exógeno puede afectar negativamente la fijación de éste elemento mediante la inhibición de la actividad de nitrogenasa, la infección de la raíz, o el desarrollo de los nódulos (Bergareche *et al.*, 1988).

En los estudios de nutrición de las plantas un aspecto importante a considerar es la cantidad de elementos minerales que la planta absorbe del suelo y el momento en el cual se produce ésta, sin embargo hay que tomar en cuenta que diversos factores influyen en ésta absorción como la capacidad de exploración del sistema radicular, propiedades químicas y físicas del suelo y su manejo, condiciones climáticas y disponibilidad de agua, un enfoque sistemático permite comprender los efectos directos e indirectos del manejo agronómico sobre la oferta de nutrientes, tales como la labranza, humedad o fertilización (Pichardo, 2010).

El requerimiento nutricional de *V. faba*, para un cultivo establecido en primavera con un rendimiento de 5 t ha^{-1} de grano, fue determinado por Jensen *et al.* (2010), observaron que mientras la concentración de N en la biomasa disminuía rápidamente, (del 5 al 2.8%) de la prefloración al inicio de llenado de vainas, la concentración de P permaneció casi constante alrededor de 0.35% lo cual implica que la tasa de absorción de P precede o regula la producción de materia seca. La concentración de potasio (K) disminuyó sostenidamente desde el comienzo del crecimiento reproductivo hasta la madurez (3.0 a 1.5%), lo cual puede estar asociado por a la absorción de K por y a la presencia de arvenses durante la maduración. También se observó que el cultivo de haba acumuló 12.4 t

ha⁻¹ de materia seca hasta la madurez y asimiló un total de 324 kg de N, 36 kg de P, 197 kg de K, 12 kg Na, 106 kg Ca, y 18 kg de Mg por hectárea.

En lo que respecta al desarrollo de la especie Daur *et al.* (2011) señalan que la altura fue de 18.1, 25.6, 101.8 y 104 cm hasta el final de ramificación, inicio de la floración, final de la floración, y llenado de vaina respectivamente; y que el cambio más grande en el incremento de ésta variable fue entre el periodo de inicio y final de la floración (100-140 días de la siembra), el comportamiento de la altura se ajustó a una regresión polinomial de segundo orden ($Y = -0.7547 - 0.0612x + 0.0045x^2$ con una $r = 0.96$); de igual manera reportaron que la concentración de N, K y Ca disminuyó conforme el avance del crecimiento en comparación con la concentración de P y Mg. Así mismo, Davood (2013) determinó la dosis óptima de P, sobre el rendimiento de haba obteniendo el mejor rendimiento (13 t ha⁻¹) cuando se aplicó a razón de 80 kg ha⁻¹. Lopez-Bellido *et al.* (2011) señalan que la cantidad de N asimilado por el grano, la raíz y el nitrógeno derivado de la rizodeposición fueron mayores en condiciones de no labranza (1.5, 0.329 y 0.135 t ha⁻¹) que los observados en a labranza tradicional (0.824, 0.224 y 0.068 t ha⁻¹).

En lo concerniente al desarrollo radicular de *V. faba*, se ha observado que las tasas de crecimiento se encuentran correlacionadas linealmente solo en pH entre 5.00 y 3.75, y se observa que éste se reduce moderadamente por encima de pH 5.00 mientras que la asimilación neta de H⁺ ocurre por debajo de pH 4.00 (Yan *et al.*, 1992). El crecimiento de la raíz se atribuye entre otros factores a la cantidad de agua disponible en el suelo, en años secos la profundidad de la raíz está

determinada por la humedad superior del suelo, particularmente en suelos de texturas finas (Mwanamwenge *et al.*, 1998). En lo que respecta a factores ambientales limitantes del desarrollo del cultivo se ha observado que en *V. faba* el estrés hídrico, el aumento en la temperatura, así como el agua disponible para la planta; afectan el rendimiento biológico de la especie, disminuyendo el área foliar final, los fotosintatos netos, la eficiencia de uso de la luz la retención y llenado de vaina por la reducción de la disponibilidad de asimilados y la distorsión del balance hormonal (Serhat *et al.*, 2007; Ghassemi *et al.*, 2009; Mohamad y Dennett, 2010).

2.2.5 Productividad y componentes del rendimiento forrajero

Cuando se habla de rendimiento de un cultivo se refiere al rendimiento biológico (biomasa aérea por unidad de superficie) y al agronómico (producción de grano por unidad de área), otra forma de estimar éste es mediante el índice de cosecha que es el rendimiento de grano sobre la biomasa total (Gutiérrez *et al.* 2005). El rendimiento final de un cultivo es el resultado de la interacción de diversos factores fisiológicos, como la fotosíntesis, asimilación de nutrientes, status hídrico de la planta, los cuales se pueden ver afectados por las condiciones climáticas durante la estación del crecimiento y por la prácticas de manejo del cultivo (densidad de siembra, fertilización, control de malezas, etc.) y se ven reflejados en la repartición de nutrientes en los diferentes órganos de la planta (Gutiérrez *et al.*, 2005; Khalil *et al.*, 2011) y los cuales están finalmente expresados en los componentes del rendimiento como peso seco de hojas, número de vainas por planta, semillas por vaina y peso promedio de semillas (Ayaz *et al.*, 2004).

En *V. faba* se ha observado una correlación positiva indirecta entre el número de granos llenos por vaina, el número de ramas por m², el rendimiento biológico y el índice de cosecha sobre el rendimiento de grano, sin embargo, la más alta observada ($r=0.974$) fue entre la altura de la planta y el rendimiento de grano (Azapour *et al.*, 2012). Chaieb *et al.* (20011) señalan que el número de semillas por vaina guarda una correlación positiva con el rendimiento por planta y que no depende del ambiente. Además de que variaciones en el peso de las semillas por diferentes condiciones ambientales pueden ser determinantes en la variación del rendimiento (Munier y Ney, 1998). En una evaluación de tres años López-Bellido *et al.* (2011) observaron que no existieron diferencias significativas entre los años de experimentación y el sistema de labranza sobre los componentes del rendimiento (grano, tallos y raíces).

2.2.6 Preparación de suelo y rendimiento de la especie

El arado del suelo y la reordenación de la superficie limpia de residuos de la cosecha anterior y las arvenses es una técnica que apunta a la creación de mejores condiciones físicas para el crecimiento de los cultivos, sin embargo, provoca cambios importantes como la pérdida de agua y materia orgánica, en este sentido la labranza mínima es una alternativa para trabajar la tierra ya que reduce la desventaja de la labranza cero, como lo son el aumento de la densidad aparente y la compactación de suelo, las cuales llegan a influir de manera negativa en la absorción de nutrientes y el desarrollo de las raíces (Nawar *et al.*, 2010).

Desde el punto de vista económico el uso de la labranza mínima implica ahorros energéticos y se ha observado que la tasa de estabilidad de los agregados y la filtración del agua es mayor en suelos limitados a labranza limitada que en labranza convencional, por lo tanto, mantener y mejorar la calidad de suelo es fundamental para que la productividad agrícola y la calidad de ambiente sean sostenibles para futuras generaciones (El-Kotb, 2013).

Vicia faba se desarrolla mejor en suelos de textura dura aunque tolera cualquier tipo de suelo; cuando el cultivo se establece durante la primavera en suelos ligeros, el rendimiento se ve afectado por el periodo seco durante el verano, así mismo, se considera que el haba mejora la estructura de los suelos pobres estabilizando los agregados (Jensen *et al.*, 2010).

La respuesta de los cultivos a los diferentes tipos de preparación del suelo ha sido estudiada por diversos autores. De Giorgio y Fornaro (2004), citan que la labranza convencional, de dos capas, de superficie y la labranza mínima no presentaron diferencia significativa, sobre el rendimiento de haba y que la labranza mínima puede ser aplicada con éxito a los cultivos de ésta especie en regiones semiáridas, reteniendo una gran cantidad de humedad en el suelo, favoreciendo la acumulación de nitrógeno disponible para subsecuentes cultivos, así como reduciendo tanto los costos de producción y el impacto ambiental de ésta actividad.

De Vita *et al.* (2007) reportaron mayor eficiencia del uso de agua, rendimiento y calidad de grano en trigo para suelos con cero labranza y

precipitaciones menores a 300 mm durante el periodo de estiaje, concluyendo que la incorporación de residuos incrementa el C orgánico en la capa superior del suelo lo cual puede propiciar una mayor densidad de raíces y favorecer una mayor absorción de agua minimizando las pérdidas por evapotranspiración. Muñoz *et al.* (2011), mostraron que en haba el sistema de laboreo (sin labor vs laboreo tradicional), influye significativamente en el rendimiento de grano y biomasa nodular, a partir del segundo año de experimentación.

2.2.7 Efecto de la fertilización sobre la productividad

Los macronutrientes que son esencialmente suplementados como fertilizantes tienen efectos internos en el crecimiento de la planta y son nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), sin embargo las investigaciones relacionadas con los efectos internos de N, P, K a manera de suplementos combinados son limitados y aquellos con respecto a la combinación de N y P como un régimen de fertilización son escasos, sin embargo, diversos autores recomiendan la fertilización combinada de N y P para el cultivo de haba (Nawar *et al.*, 2010). Bergareche *et al.* (1988) observaron un incremento de la producción total del cultivar Reina Blanca (*Vicia faba* L.) entre 19.7 y 31% respecto al control, cuando se aplicó N tanto en forma nítrica como amoniacal. Las producciones más elevadas se obtuvieron siempre en este cultivar, aplicando N amoniacal en dos fracciones de 90 kg N ha⁻¹, la primera al comienzo de la fase de crecimiento vegetativo intenso y la segunda durante el llenado de la vaina.

La aplicación de N combinado causa disminución de la producción del

cultivar Reina Mora. Saxena *et al.* (1991) observaron los efectos de la fertilización con P, encontraron que donde se había establecido un cultivo anterior de cebada con 0, 50, 100, 150 y 200 kg P /ha⁻¹, se incrementó significativamente los rendimientos biológicos (3954 Kg ha⁻¹) y de semilla (2180 Kg ha⁻¹) en el cultivo posterior de habas con sólo el P residual de los tratamientos que recibieron 100 kg P ha⁻¹. Guadarrama *et al.* (2007) señalan que la aplicación de Nitrógeno no presenta efecto sobre la fenología del cultivo de *V. faba*, pero sí en la acumulación total de biomasa. Se ha observado que el rendimiento de grano y peso seco indica relación cuadrática significativa con las dosis de N crecientes entre 0 y 200 kg ha⁻¹ (Daur *et al.*, 2008). Cuando *V. faba* fue fertilizada con fósforo únicamente el rendimiento de semilla por planta y el peso de 100 semillas fueron menores (0.35 a 0.71g), cuando se combinó N, P y K el resultado fue superior a la aplicación de únicamente N y P en 0.15 g en rendimiento de semilla por planta y 1.64 g en el peso de 100 semillas (Nawar *et al.*, 2010).

El-Metwally y Abdelhamid (2008), citan que el uso de composta favorece la productividad de haba, con un rendimiento de grano de aproximadamente 6 t ha⁻¹ cuando se realizan dos deshierbes manuales. Se ha demostrado que la aplicación de composta afecta positivamente la estructura, porosidad, capacidad de retención de agua, contenido de nutrientes y materia orgánica del suelo y promueve el crecimiento de la planta, así como el rendimiento y calidad del cultivo (El-kotb, 2013).

A pesar de los múltiples beneficios que ofrece la aplicación de composta en

el suelo diversos autores señalan que los resultados de ésta sobre el rendimiento del cultivo se observan después del segundo año de experimentación, y que los beneficios inmediatos corresponden a el mejoramiento de la estructura y los agregados del suelo, los cuales muchas de las veces no se ven reflejados en el rendimiento final (El-Metwally y Abdelhamid, 2008; El-kotb, 2013).

2.2.8 Interacción rendimiento densidad de siembra

La densidad de población es un factor importante el cual depende del buen establecimiento de las plantas, como sea la competencia por recursos naturales es afectada por el arreglo espacial de esas plantas el cual puede a su vez ser afectado por la densidad de plantas (número de plantas por unidad de área) y por la distancia entre surcos. En lo que concierne a ésta última se ha observado que el rendimiento de grano se incrementa cuando la distancia entre surcos disminuye (Bakry *et al.*, 2011). Ésta variable es uno de los más importantes y eficientes factores en la fijación de rendimiento del cultivo y no es estable para una variedad en condiciones climáticas diferentes, así mismo se ha observado que una baja densidad de plantas incrementa el número de ramas por planta y que una densidad alta la disminuye (Dahmardeh *et al.*, 2010).

Ayaz *et al.* (2004) estudiaron el efecto de la densidad de siembra sobre diferentes leguminosas de grano, observando que en todas las especies estudiadas (alverjón, lenteja, lupino, y chícharo) el número de semillas por vaina (50-200) fue mayor cuando se cultivaron a bajas densidades (10 plantas por m²).

Dahmardeh *et al.* (2010), reportaron que al incrementar la densidad de 12.5 a

20 plantas m², aumentaron significativamente los rendimientos biológicos y económicos de la especie. Bakry *et al.* (2011) indicaron que en suelos arenosos recién recuperados *V. faba* var. Nubaria1, produjo la mayor cantidad de semillas (2.014 t ha⁻¹) cuando se sembró a 20 cm entre hileras, y atribuyen estos incrementos al aumento del crecimiento de la planta y otros componentes del rendimiento como el número de semillas por vaina, y el índice de semilla bajo altas densidades de plantación. Escalante y Rodríguez (2011) encontraron que en *V. faba* la biomasa, los rendimientos de grano y el porcentaje de cosecha más altos (2.07 t ha⁻¹ y 32%, respectivamente) correspondieron a la combinación de 15-66-33 (plantas m²-N-P).

2.2.9 Efecto de los materiales orgánicos en la nodulación.

La fijación simbiótica de nitrógeno por parte de las leguminosas es una manera práctica de incrementar el rendimiento y la calidad, y depende de la interacción entre las bacterias nodulantes y la planta hospedera, a su vez ésta interacción es afectada por las condiciones ambientales en que se lleva a cabo (Kurdali y Al-Shamma, 2002). Se conocen diversos factores, que pueden afectar la colonización de la rizósfera por parte de bacterias fijadoras de nitrógeno; una de ellas es el nitrógeno en forma de nitratos (NO₃⁻), que es reconocido como uno de los principales inhibidores en la mayoría de las etapas, por lo tanto la disminución de la nodulación estará influenciada por la concentración de iones nitrato presentes en el suelo (Beauchamp *et al.*, 2001).

La dinámica del fósforo en el suelo está caracterizada por los procesos físico

químicos y biológicos, en las leguminosas éste elemento es requerido en grandes cantidades para el crecimiento, fijación de nitrógeno y se ha reportado que la deficiencia de éste elemento puede limitar gravemente la producción de nódulos (Devi *et al.*, 2013). Kurdali y Al-Shamma (2002) encontraron que en *V. faba* la restricción de agua durante la floración afecta considerablemente el crecimiento, la nodulación, la fijación de N₂, y que la aplicación de potasio puede aliviar el estrés producido por la escasez de agua, también señalan que el eleva la cantidad de potasio bajo condiciones de estrés hídrico produce un incremento en la cantidad de materia seca y la fijación de N₂ total. Gomaa *et al.* (2010), señalan un aumento en el número (97-177%) y peso seco (22-167%) de nódulos de *V. faba* cuando se aplican estiércol de ganado y gallinaza, respectivamente.

Panda *et al.* (2012) señalan que las enmiendas orgánicas empleadas solas o en combinación, incrementan el pH del suelo hacia la neutralidad y mejoran el contenido de carbono orgánico del suelo, y que la combinación de estiércol de ave, vaca, composta de hojas de neem más la inoculación con *Rizhobium sp.* incrementa significativamente el número de nódulos, peso y contenido de nitrógeno de los nódulos en comparación con *Rizhobium sp.* solo.

Devi *et al.* (2013) encontró que el número de nódulos y su peso seco fueron influenciados significativamente por diferentes combinaciones de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, encontrando un promedio de 43 nódulos por planta cuando se empleó una mezcla de fertilizante comercial y lombricomposta a razón de 1 t ha⁻¹.

2.2.10 Diversidad de entomofauna asociada al cultivo de *Vicia faba* L.

En los agroecosistemas, la biodiversidad presta servicios ambientales más allá de la producción de alimentos, fibra, combustible e ingresos; por ejemplo el reciclaje de nutrientes, el control del microclima local, la regulación de procesos hidrológicos y de la abundancia de organismos indeseables, la detoxificación de compuestos químicos nocivos, entre otros; por lo tanto, el manejo sustentable de los sistemas agrícolas requiere de un conocimiento amplio de las relaciones entre plantas, herbívoros y sus enemigos naturales (Altieri, 2004). Se considera que el sistema de labranza empleado puede modificar la abundancia relativa de los componentes bióticos de los agroecosistemas (Caselín *et al.*, 2003).

Pese a lo anterior en América son escasos los trabajos sobre la biodiversidad asociada al cultivo de haba así como sus interacciones (Zamar y Neder, 2012). Nuessly *et al.* (2004) señalan que los insectos encontrados en asociación con *V. faba* pueden dividirse en consumidores de néctar, herbívoros, depredadores y parasitoides, los pulgones son considerados como el grupo más abundante y sus áreas de alimentación se concentran en hojas y tallos tiernos lo cual causa crecimiento atrofiado del tallo, desarrollo distorsionado de las hojas y transmisión de enfermedades de carácter viral.

Se han reportado sesenta y un especies de diversos órdenes que están asociados al cultivo de haba. Caselín *et al.* (2003) encontraron que existió una diferencia significativa en la cantidad de larvas de *Macrodactylus nigripes* (Bates), en suelos cultivados de forma convencional contra labranza de conservación,

mientras que los adultos fueron más abundantes en ésta última. Wnuk y Wojciechowicz-Żytko (2010) estudiaron el efecto del cultivo intercalado de haba (*Vicia faba* L.) y *Phacelia* sp. sobre la presencia de escarabajos (*Sitonia* spp. y *Bruchus rufimanus* Boh.) y encontraron que la asociación de cultivos no tiene efecto sobre la abundancia de éstos.

Zamar y Neder (2012) observaron los estados fenológicos de *V. faba* y su relación con la diversidad de insectos en dos localidades de Argentina y concluyeron que a pesar de que el período siembra-cosecha no coincide en ambas localidades, las fluctuaciones de las poblaciones presentan un mismo patrón; a medida que avanza la floración aumenta el número de tisanópteros, que coincide con la disponibilidad del recurso alimenticio. En ambas localidades, *Frankliniella australis* (Morgan) es la especie dominante y mantiene poblaciones sucesivas en el cultivo.

2.2.11 La actividad de la mesofauna del suelo

El crecimiento de las plantas y la productividad del ecosistema son fuertemente afectados por la disponibilidad de nutrientes, el nitrógeno almacenado en el suelo principalmente proviene de la materia orgánica a partir de la cual es mineralizado como N-amoniaco por la acción de las enzimas producidas por los organismos del suelo (Parfitt *et al.*, 2005). Los abonos orgánicos actúan no sólo como una fuente de nutrientes y materia orgánica, sino también incrementan, el tamaño, la diversidad y actividad de los microorganismos del suelo, influyen en la estructura, incrementan los nutrientes y muchos otros cambios relacionados con

los parámetros químicos, físicos y biológicos del suelo (Devi *et al.*, 2013). A pesar de la importancia de los organismos del suelo, éstos son frecuentemente ignorados en los estudios de biodiversidad a escala de ecosistema a pesar de que éstos representan la proporción más amplia de especies y son los promotores principales de las funciones ecosistémicas (Ochoa *et al.*, 2013). Se ha observado que el aumento de la actividad de los invertebrados del suelo tales como lombrices, mesofauna y nematodos proporciona soporte para los procesos del suelo y servicios tales como el suministro de nutrientes y mineralización de nitrógeno (Schon *et al.*, 2011).

La disponibilidad de nutrientes determinan la fertilidad del suelo; y ésta a su vez la productividad de los sistemas. Sin embargo, la disponibilidad de nutrientes provienen de una serie de procesos fisicoquímicos en la parte mineral (nitrificación, amonificación, solubilización, etc.) y de los procesos biológicos que realizan las poblaciones de organismos del suelo, quienes transforman los materiales orgánicos hasta su mineralización, junto con las microcadenas alimenticias entre los organismos. Sus efectos pueden ser fuertes que afectan considerablemente la producción de biomasa vegetal, misma que servirá posteriormente para alimentar a poblaciones incrementadas de otras generaciones de organismos (Van der Wal *et al.*, 2009).

Los microartrópodos del suelo, como los ácaros y collembolos son cosmopolitas; pero a la vez son sensibles a los cambios de manejo del suelo y pueden influenciar un gradiente de procesos ecosistémicos, entre los cuales

destaca su capacidad de incrementar los macroagregados del suelo, o su contribución a la degradación de la biomasa de *Fusarium sp.*, como el caso de los colémbolos, la disponibilidad momentánea de materiales orgánicos y la estrategia reproductiva de tipo “r” de éste grupo les permite sobrevivir con mayor éxito en los campos de cultivo que los ácaros, quienes pueden ser más estables en ambientes naturales. (Siddiky *et al.*, 2012).

En cuanto a estudios sobre diversidad de microartrópodos y manejo de suelo, Cao *et al.* (2011) reportaron los cambios en la abundancia y estructura de las comunidades de ácaros del suelo bajo fertilización química y orgánica en experimentos de largo plazo, observando a partir del tercer año de experimentación, una disminución de en la abundancia de ácaros micófagos por efecto del fósforo y las condiciones de humedad, mientras que la fertilización orgánica incrementó la abundancia de Mesostigmata lo cual se atribuye a un aumento en la cantidad de presas disponibles. Castaño *et al.* (2004), estudiaron los hábitos alimenticios de Collembola y su relación con el nicho ecológico en el que se desarrollan, encontrando que en suelos cultivados éste grupo se alimenta principalmente de materia vegetal, esporas de hongos, conidias mitosporicas, y *Alternaria sp.* Ness. Por otro lado Jeréz *et al.* (2014), discriminaron los tipos de manejo de olivo usando grupos bioindicadores, encontrando que el orden Collembola es un grupo que se ve fuertemente afectado por la preparación del suelo dada la alteración de las capas superiores de éste, también señalan que la abundancia de éste grupo se ve afectada por la humedad y la disponibilidad de nutrientes.

III JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo evaluó la respuesta de *Vicia faba* L. a diferentes condiciones de manejo del cultivo (preparación del suelo, densidad de siembra y fertilización), para encontrar aquella combinación de factores que permita elevar los rendimientos y la calidad nutritiva de la especie y al mismo tiempo asegure la sostenibilidad del cultivo a fin de sentar las bases para desarrollar un modelo accesible al productor.

IV OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar diferentes condiciones de manejo del cultivo (preparación del suelo, fertilización y densidad de plantación) de *Vicia faba* L. sobre la producción de ejote, forraje biodiversidad asociada, en Zaragoza, Puebla.

4.2 OBJETIVOS PARTICULARES

1. Evaluar el efecto de la preparación del suelo, densidad de siembra y aplicación de composta sobre el rendimiento de *Vicia faba* L. en Zaragoza, Puebla.
2. Estimar la diversidad y abundancia de insectos asociados al cultivo de *V. faba* L., cuando es sometida a diferentes tratamientos relacionados con el manejo del suelo, la densidad de siembra y fertilización.
3. Estudiar la variación de la biomasa radicular y la producción de nódulos por efecto de la preparación del suelo, la densidad y la fertilización.

V HIPÓTESIS

1. El rendimiento productivo de *Vicia faba* L. variará en función de la preparación del suelo, densidad de siembra y fertilización.
2. La diversidad y abundancia de insectos, será mayor en el tratamiento con labranza mínima, mayor densidad y fertilización.
3. La nodulación será mayor en el tratamiento con preparación convencional, menor densidad y sin fertilización.

VI. METODOLOGÍA

El experimento se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2013, en una parcela agrícola ubicada en el municipio de Zaragoza, Puebla. En las coordenadas geográficas 19°45'54" latitud Norte, y 97°32'42" longitud Oeste, con una altura de 2524 msnm (Figura 1.).

Se estudiaron tres factores de variación: 1) preparación de suelo, 2) fertilización, y 3) densidades de población (Cuadro 1).

1) Preparación del suelo. Se realizaron dos tipos de preparación del suelos, la tradicional que incluye barbecho, rastreo y surcado (Rojas, 2011), y la labranza mínima. Previo a la preparación se realizó un análisis de suelo. En ambos casos se empleó yunta. La distancia entre surcos correspondió a 60 cm, mientras que la distancia entre plantas para obtener la densidad deseada correspondió a 10, 20, 30 y 40 cm (4,6,8, y 16 plantas por m² respectivamente).

2) En lo que respecta a la fertilización sólo se consideraron dos tratamientos con fertilización orgánica mediante composta y sin fertilización, con aplicación de composta a razón de 17.857t ha⁻¹ (El-Metwally y Abdelhamid, 2008), con un total de 960 Kg distribuidos en las 32 unidades experimentales que correspondieron a los tratamientos con fertilización.

3) Las densidades de siembra correspondieron a 4, 6, 8, y 16, plantas por m²

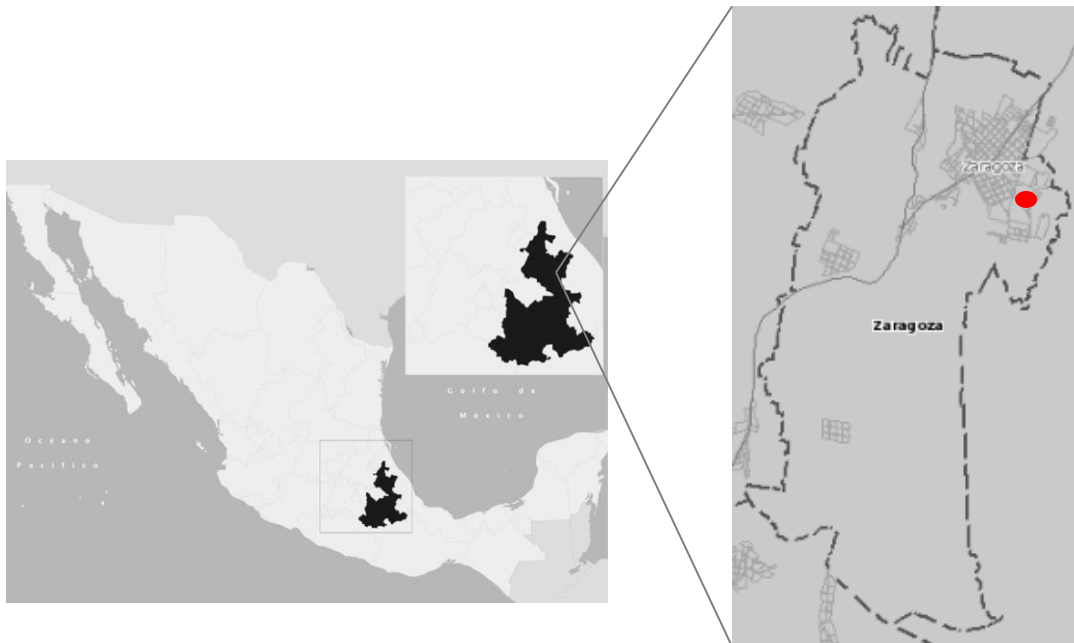


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio Zaragoza, Puebla

Se tomaron muestras de suelo compuestas en cada bloque, a una profundidad de 0 -15 cm, y de 15-30 cm, tomadas en zigzag a lo largo de cada bloque, cada muestra se compuso de 30 submuestras y estas fueron analizadas en el Laboratorio de suelos del Departamento de Edafología del Colegio de Posgraduados, Montecillos, Texcoco, México; mediante el método de incineración.

6.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental correspondió a bloques al azar con arreglo en parcelas subdivididas y cuatro repeticiones, las parcelas grandes correspondieron a dos preparaciones de suelo, la subparcela a cuatro densidades de siembra y la sub-subparcela la fertilización (Figura 2). La unidad experimental correspondió a

parcelas de 3.0 X 5.6 m que corresponden a 16.8 m², de las cuales se tomaron seis surcos centrales como parcela útil (8.4 m²), se probaron 16 tratamientos, con 4 bloques que generan un total de 64 parcelas experimentales.

Cuadro 1. Tratamientos resultantes de la combinación de los factores preparación: del suelo, fertilización y densidad

No de tratamiento	Nomenclatura de tratamiento	Preparación del suelo	Fertilización	Bloques	Densidad de plantas / m ²
1	PC-S/C-4	Preparación completa	Composta	I	4
2	PC-S/C-6				6
3	PC-S/C-8				8
4	PC-S/C-16				16
5	PC-S/C-4		Testigo	II	4
6	PC-S/C-6				6
7	PC-S/C-8				8
8	PC-S/C-16				16
9	LM-S/C-4	Labranza mínima	Composta	III	4
10	LM-S/C-6				6
11	LM-S/C-8				8
12	LM-S/C-16				16
13	LM-S/C-4		Testigo	IV	4
14	LM-S/C-6				6
15	LM-S/C-8				8
16	LM-S/C-16				16

6.2 VARIABLES ANALIZADAS

Las variables de respuesta fueron las siguientes:

- a) Días a emergencia de la plántula; se consideró cuando el 50% de la plantas iniciaron su aparición.
- b) Días a inicio de la floración; se estimó cuando más del 50% presentaron la primera flor.

c) Altura de la planta (cm), se obtuvo como promedio de 12 plantas por tratamiento, cada 15 días, de la parcela útil, sobre el nivel del suelo hasta el punto en que la inflorescencia emerge del verticilo formado por las hojas.

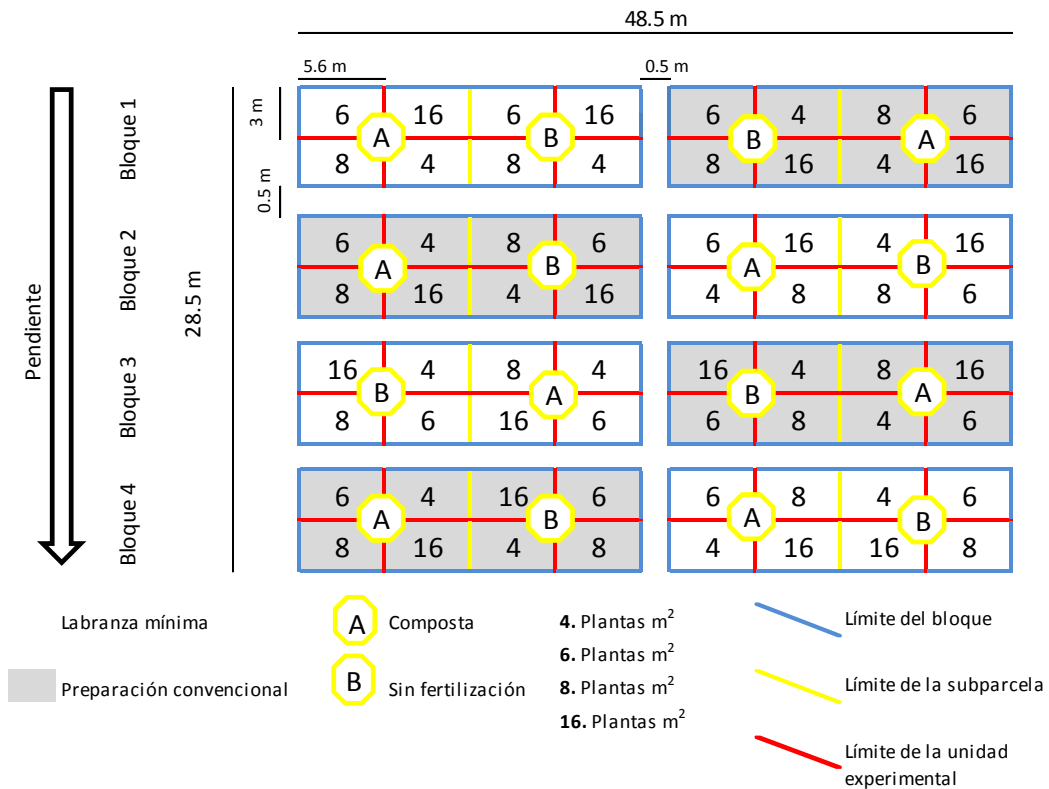


Figura 2. Descripción del diseño bloques al azar en parcelas subdivididas.

d) Número de ramas de la planta, se obtuvo como promedio de 12 plantas por tratamiento, tomadas de la parcela útil, medida en número de macollos en la base de la planta.

e) Rendimiento de ejote, se calculó con los datos obtenidos del número de vaina por planta.

- h) Materia seca de las hojas, se obtuvo cosechando el follaje de 54 plantas de la parcela útil de cada tratamiento y se secaron a 60° C hasta obtener un peso seco constante (72 h aproximadamente).
- i) Materia seca de vaina, se calculó cosechando las vainas de 54 plantas de la parcela útil y se secará a 60° C hasta obtener un peso seco constante (72 h aproximadamente).
- j) Materia seca del tallo, se estimó cosechando los tallos de 54 plantas la parcela útil, y se secará a 60° C hasta obtener un peso seco constante (72 h aproximadamente).
- k) Materia seca total, se obtuvo de la suma de la materia seca de hojas, vaina, y tallo.
- l) Abundancia y diversidad de insectos se estimó a través de muestreo directo con el uso de redes entomológicas sobre la parcela tratamiento. En el suelo, el muestreo se realizó durante la cosecha, extrayendo cuerpos de invertebrados en suelo a una profundidad de 30 cm, tomando una muestra por parcela.
- m) Producción de raíz, se obtuvo a partir de extracción de la raíz de 1 planta completa de la parcela útil, al momento de la cosecha. Se midió longitud de raíces (mm) empleando el método de intersección de Newman (1966), materia seca de raíz (mg), y número de nódulos.

6.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se ajustó un modelo de regresión polinomial de segundo orden al crecimiento en

altura con el programa Statgraphics Centurion XVI.I. mediante la ecuación:

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2$$

en donde:

y= altura

$\beta_0=15.5099$

$\beta_1=-0.454147$

$\beta_2=0.0102362$

x = días después de la siembra

Para analizar el comportamiento de la tasa de crecimiento diaria de altura en las diferentes fechas se empleó el procedimiento PROC MIXED de SAS (1999), utilizando las fechas de muestreo como medida repetida y la estructura de covarianza de simetría compuesta. Los datos de materia seca obtenidos se analizaron con base a un modelo lineal general considerando el efecto del bloque y de los tratamientos, con el procedimiento PROC GLM de SAS (1999).

Se estimó la riqueza de especies para cada parcela experimental empleando el índice de Margalef:

$$R_1 = \frac{S - 1}{\ln(n)}$$

Donde S es el número total de especies encontradas y n es el número total de individuos observados.

Para calcular la diversidad, se empleó el índice de Shannon-Wiener para cada parcela experimental, empleando la fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^s (p_i \times \log_2 p_i)$$

Donde p_i es la proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie).

Se realizó un análisis de varianza de los índices para todos los datos de cada especie, con el fin de observar si existieron diferencias significativas sobre las variables índice de Margalef e índice de Shannon por efecto de los tratamientos empleando el programa Statgraphics Centurion XVI.I. Con el fin de analizar las correlaciones entre las especies de insectos encontradas se realizó una correlación de Spearman mediante el procedimiento CORR de SAS (1999).

El análisis de la composta se realizó en el laboratorio de suelos el Colegio de postgraduados, campus Montecillos, empleando la técnica de incineración.

El porcentaje de germinación de la semilla empleada al momento del establecimiento fue de 94%.

VII RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se presentan los valores promedio de los principales elementos agrometeorológicos observados durante el tiempo que duró el experimento. Cabe señalar que durante el mes de mayo se registraron las temperaturas más bajas del periodo las cuales oscilaron entre los 2 y 5° centígrados.

Cuadro 2. Medias mensuales de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin) y precipitación total mensual (pp).

Mes	Periodo (días)	T max (°C)	T min (°C)	P (mm)
Marzo	11-31	20.3	12.1	39
Abril	1-30	22.9	12.7	38
Mayo	1-31	20.9	11.0	162
Junio	1-30	21.0	13.2	470
Julio	1-10	21.1	13.4	101

La textura del suelo en la parcela experimental corresponde a franco-arcillo-arenosa las principales características se pueden observar en el cuadro 3.

Cuadro 3. Composición química del suelo de la parcela experimental.

Bloque	Profundidad de la muestra	pH	CE dS m ⁻¹	N %	P ppm	K meq 100 g ⁻¹	M.O. %	CIC meq 100 g ⁻¹
1	0-15	6.48	0.138	0.224	1.16	0.8005	4.91	28.32
1	15-30	6.02	0.327	0.256	1.75	0.6111	5.84	24.88
2	0-15	6.18	0.317	0.266	1.16	0.7230	5.71	26.08
2	15-30	6.13	0.352	0.238	1.16	0.7574	5.31	25.28
3	0-15	5.48	3.960	0.336	1.16	0.7832	6.24	22.08
3	15-30	6.29	0.172	0.273	1.16	0.7660	6.24	26.88
4	0-15	6.26	0.331	0.294	1.16	0.8306	6.10	25.68
4	15-30	6.09	0.217	0.189	1.16	0.7316	4.64	26.08

*Clase textural franco arcillo arenoso

La composición de la composta empleada correspondió a 0.368% de N, 273.7 ppm de NO₃⁻, 29.4 ppm de NH₄⁺, 30.56 ppm de P, 16.35 meq 100 g⁻¹ de K,

y 7.97% de M.O.

7.1 FENOLOGÍA DEL CULTIVO POR EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS

No hubo efecto de los tratamientos ($P < 0.05$) sobre los días a emergencia de plántulas (20.78 ± 2.5) y floración (79.90 ± 2.45). Éstos resultados son similares a los reportados por Confalone *et al.* (2006), quienes reportan un rango de 24 a 84 días posteriores a la siembra para emergencia y floración, respectivamente, sin embargo en los resultados de Escalante y Rodríguez (2011) los valores de emergencia y floración se reducen a 10 y 63 días, respectivamente, esta diferencia puede deberse a la variedad que ellos usaron (*Vicia faba* var. Cochinera), ya que diversos autores reportan diferencias en la fenología y rendimiento del cultivo por efecto de la variedad empleada (Bakry *et al.*, 2011; Dahmardeh *et al.*, 2010; Karadavut *et al.*, 2010).

El nulo efecto por la aplicación de la composta sobre las mismas variables fenológicas, puede relacionarse con la mínima respuesta de emergencia y floración a la aplicación de N (Guadarrama *et al.*, 2007); esto puede deberse al corto tiempo de evaluación del presente ensayo, los resultados con efectos significativos por la aplicación de composta responden a periodos mayores de dos años (El Metwally y Abdelhamid, 2008; Motenmurro y Maiorana, 2014).

7.2 CRECIMIENTO DEL CULTIVO

El comportamiento de la altura de las plantas, se ajustó al modelo: $y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2$; con un nivel de ajuste del 89.8789% y una $r=0.9480$ (Figura 3). A pesar de que el nivel de ajuste se similar, las constantes encontradas en el

presente estudio difieren a las observadas por Daur *et al.* (2011), lo cual se puede explicar ya que el mayor incremento se observó entre los 41 y 54 días de la siembra, que es un periodo menor al reportado los autores antes citados, esto puede deberse a la diferencia en las condiciones entre ambos experimentos, por otra parte las diferencias en ésta variable por efecto de los tratamientos se observaron a partir de los 55 días de la siembra, lo cual coincide con el aumento en la precipitación.

Los tratamientos de labranza mínima con y sin composta y densidad de 6 plantas por m², presentaron menor altura en el periodo de los 54 a los 69 días de la siembra, esta diferencia puede deberse a que en esta especie el crecimiento del tallo es indeterminado (Duc, 1997).

En el periodo que corresponde a los 88 a 102 días de la siembra se notó una respuesta ($P < 0.05$) sobre la altura en aquellos tratamientos donde se realizó la preparación completa y en los tratamientos que recibieron aplicación de composta, lo cual puede deberse a que la composta favoreció la retención y disponibilidad del agua en el suelo, tal como señalan Altieri y Nicholls (2000).

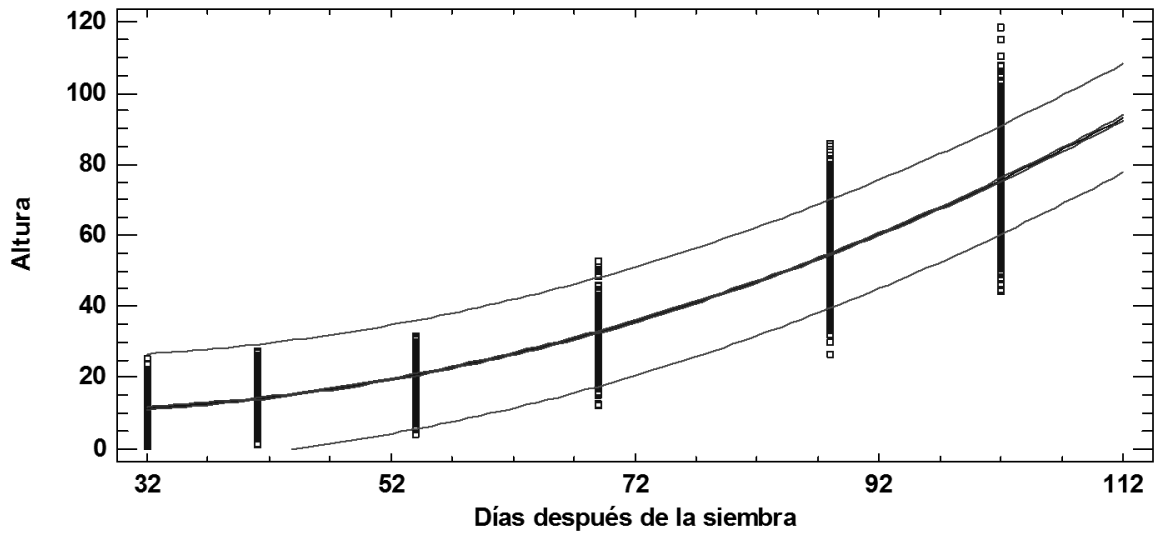


Figura 3. Curva de crecimiento, de Vicia faba L y modelo: $y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2$ que describe el comportamiento de la altura a lo largo del tiempo.

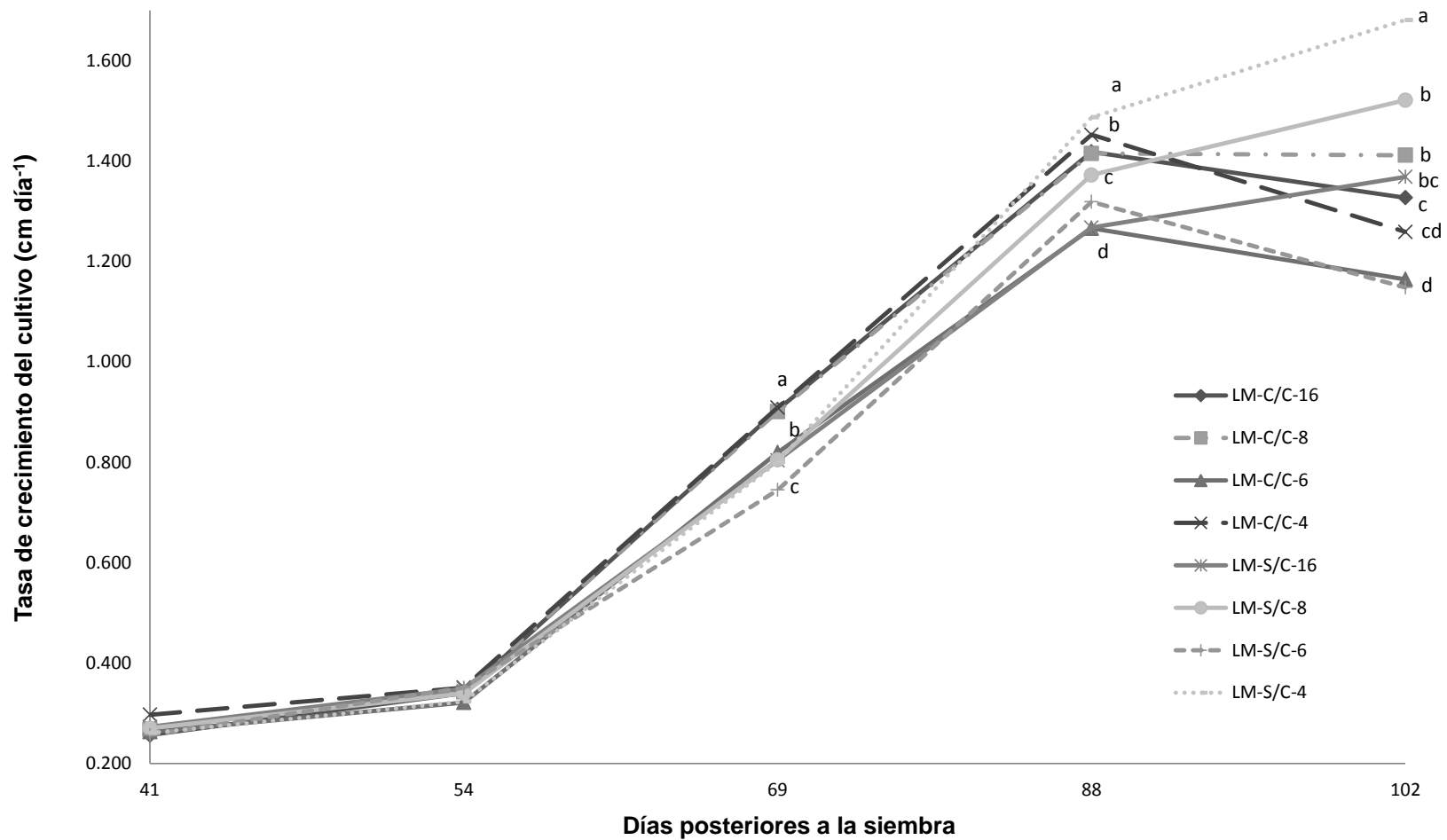


Figura 4 A. Tasa de crecimiento en cm día⁻¹, de *V. faba* L. por efecto de la preparación de suelo. (Labranza mínima).

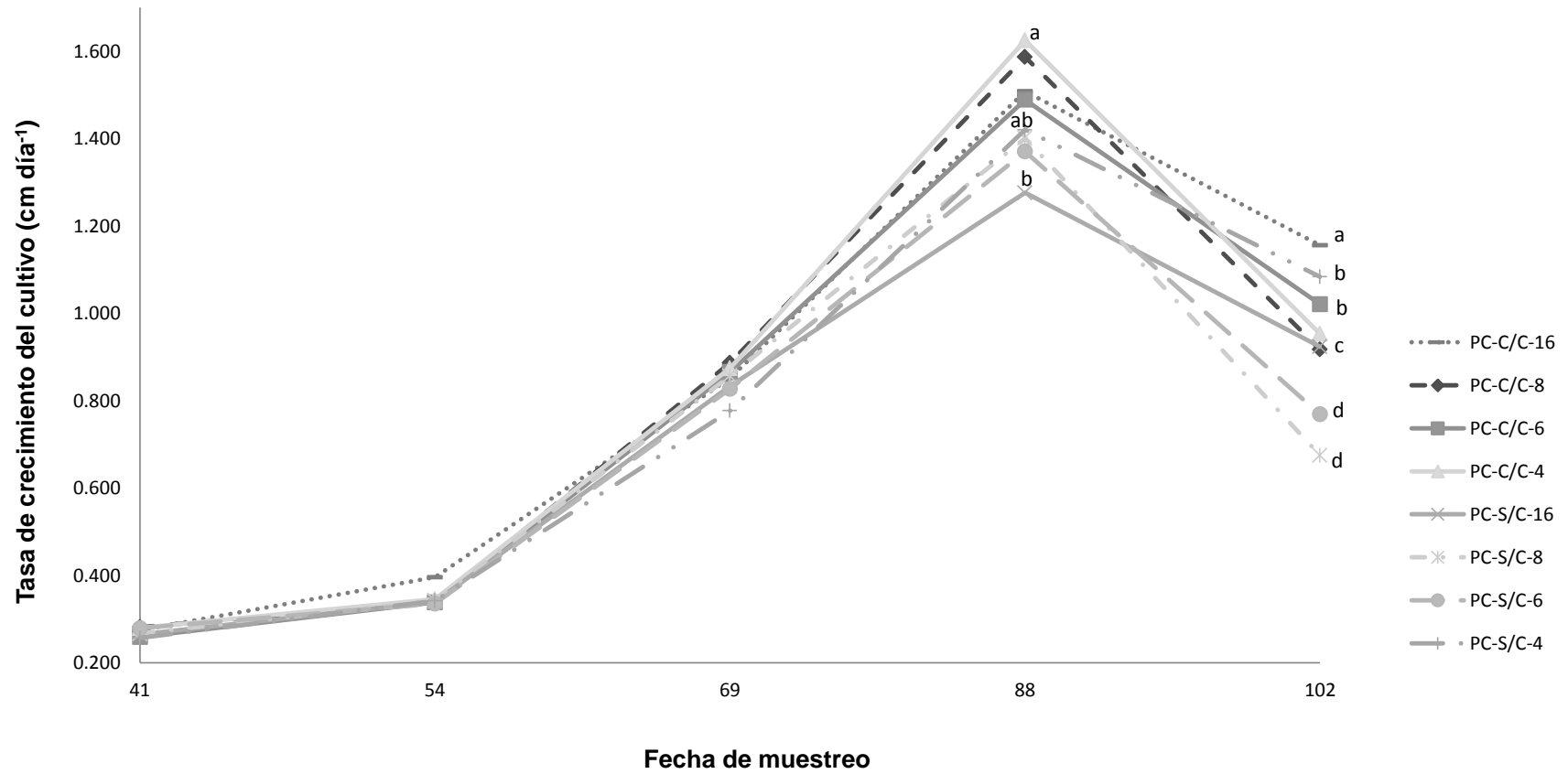


Figura 4 B. Tasa de crecimiento en cm día⁻¹, de *V. faba* L por efecto de la preparación de suelo. (Preparación completa)

En los grupos correspondientes a labranza mínima las diferencias pueden ser atribuibles a la competencia por luz, siendo éstos resultados congruentes con lo reportado por Bakry *et al.* (2011), quienes describen un incremento proporcional en la altura de la especie con respecto a la densidad de siembra.

De forma similar se observó una reducción en la tasa de crecimiento (Figuras 4 A y 4B) en la última fecha de muestreo (102 días para aquellos tratamientos que corresponden a preparación completa, lo anterior puede deberse a que la temperatura observada en este intervalo fue la más elevada en el periodo experimental. Los resultados obtenidos son similares a los observados por Serhat *et al.* (2007); Mohamad y Dennett (2010), quienes señalan que las temperaturas elevadas tienen un efecto negativo en el crecimiento y desarrollo de las plantas ocasionado por el cierre de estomas, insuficiencia respiratoria y baja asimilación de nutrientes. Éste efecto pudo haber sido mitigado por la cubierta vegetal remanente en los tratamientos de labranza mínima ocasionando la absorción y retención de humedad y minimizando las pérdidas de agua por evapotranspiración, como señalan De vita *et al.* (2007).

7.3 RENDIMIENTO DEL CULTIVO Y SUS COMPONENTES

En lo que respecta a la materia seca de hojas (Cuadro 4), se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre el efecto de los tratamientos, sin embargo el tratamiento que produjo una mayor cantidad de materia seca de follaje ($2.77 \pm 0.39 \text{ t ha}^{-1}$) correspondió al de preparación completa (PC), con composta (C/C) y 16 plantas por m^2 ; éstos resultados son similares a lo descrito por Dahmardeh *et*

al. (2010) y Bakry *et al.* (2011), quienes citan que la biomasa del cultivo incrementó conforme al incremento de la densidad. El rendimiento promedio de materia seca total para todos los tratamientos del presente trabajo correspondió a $5.25 \pm 2.78 \text{ t ha}^{-1}$, éste es similar a lo encontrado por Escalante y Rodríguez (2011), quienes reportan un promedio de biomasa de 5.35 t ha^{-1} , la mayor producción en biomasa o materia seca total ($10.15 \pm 1.9 \text{ t ha}^{-1}$) para el presente trabajo correspondió a los tratamientos con preparación completa, 16 plantas por m^2 y aplicación de composta (65 N, 0.54 P kg ha^{-1}) mientras que Escalante y Rodríguez (2011) obtuvieron la mayor producción para ésta variable (6.83 t ha^{-1}) con una densidad de 10 plantas m^2 , 66-66 kg ha^{-1} de N y P respectivamente, un hecho notable es que la cantidad baja de fósforo aplicado en nuestro experimento pudo tener un efecto negativo en la producción de biomasa, de acuerdo a lo que señalan Jensen *et al.* (2010), Davood (2013) y Devi *et al.* (2013), que establecen un rango de requerimiento del cultivo de 36 a 80 kg ha^{-1} de P, y una producción de materia seca total entre 11.69 y 12.4 t ha^{-1} .

En el presente ensayo, se presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) por efecto de los tratamientos sobre la producción de materia seca de ejote (Figura 5), no obstante, coinciden con lo mencionado por Bakry *et al.* (2011). Cabe mencionar que los tratamientos con mayor producción de materia seca de ejote no fueron los que presentaron mayor altura sino que correspondieron a los tratamientos con densidad de 16 plantas por m^2 .

Cuadro 4. Producción de materia seca (MS) de hojas y materia seca total (kg ha⁻¹) por tratamiento.

Tratamiento	Media MS hojas \pm s ²	Media MS total \pm s ²
LM-C/C-4	746.09 \pm 163.68 a	2761.37 \pm 623.03a
PC-S/C-4	747.40 \pm 167.81a	2693.3 \pm 545.9a
LM-S/C-4	775.87 \pm 275.09ab	2763.72 \pm 918.89a
PC-C/C-4	810.68 \pm 177.83abc	2935.33 \pm 656.41ab
LM-C/C-6	950.46 \pm 241.28bcd	3301.74 \pm 890.15abc
LM-S/C-6	981.83 \pm 290.81cdf	3582.51 \pm 931.59bcd
PC-S/C-6	1035.37 \pm 264.28df	3726.71 \pm 925.96cd
PC-C/C-6	1143.52 \pm 268.28f	4096.30 \pm 894.40d
PC-S/C-8	1345.99 \pm 201.53g	4829.67 \pm 689.29e
LM-S/C-8	1350.69 \pm 248.21g	4936.63 \pm 1162.91ef
LM-C/C-8	1390.97 \pm 261.26g	5283.33 \pm 1008.48ef
PC-C/C-8	1456.77 \pm 326.62g	5596.70 \pm 981.70f
LM-S/C-16	2447.15 \pm 310.35h	8782.01 \pm 1449.27g
PC-S/C-16	2492.36 \pm 350.77h	9210.42 \pm 1487.58g
LM-C/C-16	2607.64 \pm 415.57hi	9369.65 \pm 1807.17g
PC-C/C-16	2771.18 \pm 393.46i	10155.20 \pm 1904.23h

Nota: Tratamientos con las mismas letras no difieren significativamente

Estos resultados son similares a los observados por De Giorgio y Fornaro (2004) y De Vita *et al.* (2007), quienes señalan que en el caso de rendimiento de grano en los cultivos de haba y trigo, no existieron diferencias significativas por efecto de preparación del suelo; también coinciden con lo descrito por López-Bellido *et al.* (2011), que citan que para la especie bajo estudio, no existió diferencia en producción de materia seca de grano, para el primer año de experimentación cuando se aplicó labranza convencional y labranza mínima.

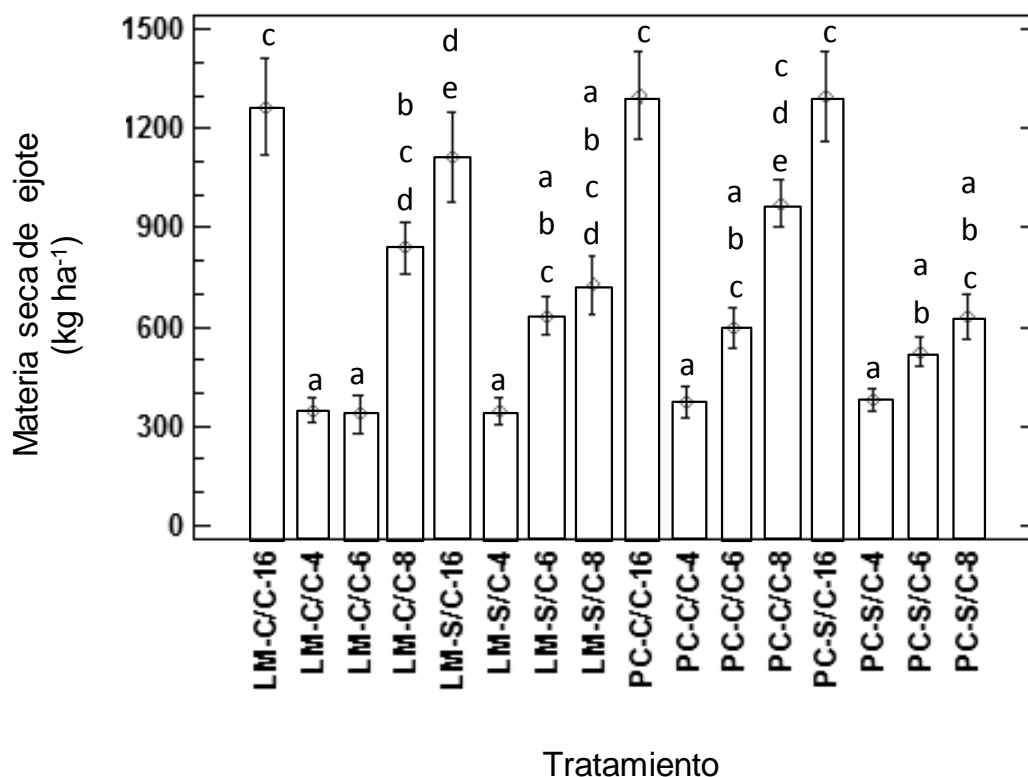


Figura 5. Efecto de los tratamientos sobre la materia seca (MS) del ejote en kg ha⁻¹. Letras iguales indican que no existe diferencia significativa por efecto de los tratamientos (P<0.05). LM=Labranza mínima, PC=Preparación completa, C/C=con composta, S/C=sin composta, 4, 6, 8, y 16=plantas por m².

No se observó efecto de la aplicación de composta sobre el rendimiento de la especie, resultados que difieren a los reportados por Guadarrama *et al.* (2007); y El-Metwally y Abdelhamid (2008). Esto pudo ser originado como se señaló anteriormente por la baja concentración de nutrientes de la composta (Cuadro 4), como señala Jensen *et al.* (2010) los requerimientos promedio del cultivo corresponden a 324-36-197 kg ha⁻¹ de N-P-K respectivamente, haciendo la conversión de los nutrientes disponibles en el suelo como los disponibles en la composta durante el periodo de evaluación el cultivo tuvo disponibles 112.053-0.566-0.0044 kg ha⁻¹ de N-P-K respectivamente en este sentido se puede observar que los valores son inferiores a los descritos por Jensen *et al.* (2010) lo

cual puede explicar los bajos rendimientos obtenidos en el presente ensayo con respecto a los reportados por los autores. Otro hecho que nos puede ayudar a explicar la carencia de efectos por aplicación de la composta entre los diferentes tratamientos es el corto periodo de evaluación, ya que De Vita *et al.* (2007) y López Bellido *et al.* (2010) observaron una respuesta por la aplicación de composta a partir del segundo año de experimentación.

En lo referente a la producción de materia seca de raíz (3.00 ± 1.50 g por planta) así como nodulación (0.27 ± 0.18 g por planta), no se observaron diferencias significativas entre el efecto de los tratamientos, lo cual nos indica que el rendimiento biológico de la especie no depende de la preparación del suelo, éstos resultados concuerdan con lo descrito por De Vita *et al.* (2007); López-Bellido *et al.* (2011) quienes no encontraron diferencias significativas por efecto de la preparación de suelo en la producción de raíz para el primer año de experimentación.

7.4 DIVERSIDAD DE ENTOMOFAUNA ENCONTRADA

En lo que respecta a la biodiversidad de insectos encontrada, se observó la presencia de especies asociadas al cultivo, descritas en el Cuadro 5.

No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en la riqueza y diversidad de insectos asociados al cultivo por efecto de los tratamientos. Sin embargo se observaron algunas correlaciones entre las especies encontradas (Cuadro 6).

Se observó una correlación positiva con una relación directa significativa ($P < 0.05$) entre *Aphis fabae* (Scop.) y *Coccinella* sp. la cual tiene similitud con lo

Cuadro 5. Listado de entomofauna asociada al cultivo de *Vicia faba* L.

N°	Familia	Subfamilia	Nombre científico	Nombre común
1	Aphididae	Aphidinae	<i>Aphis fabae</i> (Scop.)	Pulgón
2	Rhopalidae	Serinethinae	<i>Boisea trivittata</i> (Say)	Chinche roja
3	Lygaeidae	Lygaeinae	<i>Lygaeus equestris</i> (Solb.)	Chinche roja
4	Coccinellidae	Cassidinae	<i>Coccinella</i> sp.	Catarina
5	Chrysomelidae	Chrysomelinae	<i>Calligrapha</i> sp.	Catarina
6	Tenebrionidae	Tenebrioninae	<i>Tribolium</i> sp.	Escarabajo
7		Pimeliinae	<i>Tentyria</i> sp.	Escarabajo
8	Mololonthidae	Melolonthinae	<i>Macroductylus nigripes</i> (Bates)	Frailecillo
9	Cetoniidae	Pentatrichomonoidinae	<i>Trichus fasciatus</i> L.	Escarabajo
10	Lampyridae	Lampyrynae	<i>Lucidota atra</i> (Oliv.)	Luciernaga
11	Apoidea	Cabroninae	<i>Cerceris arenaria</i> L.	Avispa
12	Sciaridae	Keroplastinae	<i>Bradysia</i> sp.	Mosca

reportado por diversos autores quienes señalan que dentro de la familia Coccinellidae existen diversos depredadores naturales del pulgón, cuyo papel ecológico dentro de los sistemas agrícolas es controlar las poblaciones elevadas y con ello disminuir las pérdidas del cultivo (Prelijpean *et al.*, 2004, Nuessly *et al.*, 2004).

Polidori *et al.* (2005), encontraron que 13 de las especies presa, de *Cerceris arenaria* L., más abundantes en el norte de Italia pertenecen a las subfamilias Brachyderinae y Hyperinae, y que antes de las 17.00 a las 18.59 hr se registran más vuelos de provisión que de no provisión, los resultados de este estudio son congruentes con lo reportado por Polidori *et al.* (2005), ya que las observaciones más frecuentes de *C. arenaria* se realizaron por la mañana, sin embargo lo

encontrado en el presente estudio mostró que las especies correlacionadas con ésta no pertenecen a las subfamilias descritas por Polidori *et al.* (2005), lo cual posiblemente se deba a la diferencia en las áreas de estudio.

Cuadro 6. Matriz de correlación de las especies asociadas al cultivo de *Vicia faba* L.; Sp 1 = *Aphis fabae* (Scop.); Sp 2 = *Boisea trivittata* (Say); Sp 3 = *Lygaeus equestris* (Solb.); Sp 4 = *Coccinella* sp.; Sp 5 = *Calligrapha* sp.; Sp 6 = *Tribolium* sp.; Sp 7 = *Tentyria* sp.; Sp 8 = *Macroductylus nigripes* (Bates); Sp 9 = *Trichus fasciatus* L.; Sp 10 = *Lucidota atra* (Oliv.); Sp 11 = *Cerceris arenaria* L.; Sp 12 = *Bradysia* sp.

		Sp2	Sp3	Sp 4	Sp5	Sp6	Sp7	Sp8	Sp9	Sp10	Sp11	Sp12
Sp1	r	0.0826	-0.0413	0.0348	-0.0244	-0.0097	0.0164	-0.0077	0.0462	0.0062	0.0242	-0.0323
	P	0.0219	0.2526	0.3355	0.5	0.7877	0.6498	0.8319	0.2009	0.8635	0.503	0.371
Sp2	r		-0.1423	-0.0932	0.131	-0.0507	-0.0889	0.1038	-0.0565	-0.1393	0.0463	0.0296
	P		0.0001	0.0096	0.0003	0.1597	0.0135	0.0039	0.1175	0.0001	0.1992	0.4126
Sp3	r			-0.0685	0.0206	0.012	0.0073	-0.0459	-0.0602	-0.0649	0.0528	-0.0855
	P			0.0574	0.568	0.7407	0.84	0.203	0.0954	0.0719	0.1433	0.0176
Sp 4	r				-0.1083	0.0267	-0.0519	-0.0378	0.1244	0.19	-0.0098	0.0359
	P				0.0026	0.4604	0.1504	0.2948	0.0005	0.0000	0.7866	0.3196
Sp5	r					-0.0749	-0.0371	0.1571	-0.0939	0.0514	-0.0563	0.0022
	P					0.0376	0.3044	0.0000	0.009	0.1544	0.1188	0.951
Sp6	r						-0.0687	-0.05	0.0712	-0.0707	0.0026	0.0573
	P						0.0568	0.1655	0.0482	0.0499	0.9422	0.112
Sp7	r							-0.0348	-0.0456	0.0675	-0.0664	0.004
	P							0.3351	0.2068	0.0613	0.0653	0.9119
Sp8	r								-0.0332	-0.0358	-0.0183	-0.0472
	P								0.3578	0.321	0.6122	0.191
Sp9	r									-0.0469	-0.0634	-0.014
	P									0.1937	0.0787	0.6993
Sp10	r										-0.0684	-0.0444
	P										0.0577	0.2192
Sp11	r											-0.0901
	P											0.0123

*n=768, r= correlación, P=95%

El presente estudio muestra que existe una correlación entre *Cerceris arenaria* L., *Macroductylus nigripes* (Bates), *Boisea trivittata* (Say), *Lygaeus equestris* (Solb), lo cual puede estar relacionado con lo observado por Nuessly *et al.* (2004) quienes señalan la presencia de avispas solitarias en plantas que

exhibían claros daños por herbivoría en las hojas, posiblemente debido a la disponibilidad de presas, cabe señalar que los hábitos de *Marodacylus nigripes* (Bates) son herbívoros, así como de *Boisea trivittata* (Say) y *Lygaeus equestris* (Solb). son xilófagos, sin embargo son escasos los estudios que reporten éstas especies como presas de *C. arenaria* L.

Se observó una correlación inversa entre *Calligrapha* sp. Y *Coccinella* sp., lo cual puede estar relacionado con la diferencia entre los hábitos alimenticios de cada género, ha señalado anteriormente que *Coccinella* sp. representa un control biológico de *Aphis fabae* (Scop.), mientras que Flanagan *et al.* (2000); Burgos y Anaya (2004), señalan que la mayoría de las especies, que comprende el género *Calligrapha*, corresponden a especies monófagas herbívoras asociadas a arvenses como *Solanum* sp. y *Sida acuta* (Burn). *Calligrapha* sp. también presenta una correlación negativa con *Tentyria* sp. La cual puede deberse como en el caso de *Coccinella* sp. a los hábitos alimenticios ya que Cartagena *et al.* (2002), señalan al género con hábitos alimenticios saprófagos y coprófagos en su mayoría.

7.5 MESOFAUNA ENCONTRADA EN EL SUELO

El número de ácaros no se vio afectado significativamente ($P > 0.05$) por los tratamientos (Figura 6), posiblemente por las condiciones de humedad durante el experimento, lo cual pudo haber afectado la abundancia de éste grupo tal como reportan Cao *et al.* (2011), o bien por el corto periodo de experimentación ya que los autores antes citados reportaron diferencias entre tratamientos a los tres años

de la experimentación. Éstos resultados también son congruentes con lo descrito por Siddiky *et al.* (2012), quienes señalan que las poblaciones de ácaros son más estables en ambientes naturales, donde cuentan con mejores condiciones tales como mayor cantidad de materia orgánica, y humedad.

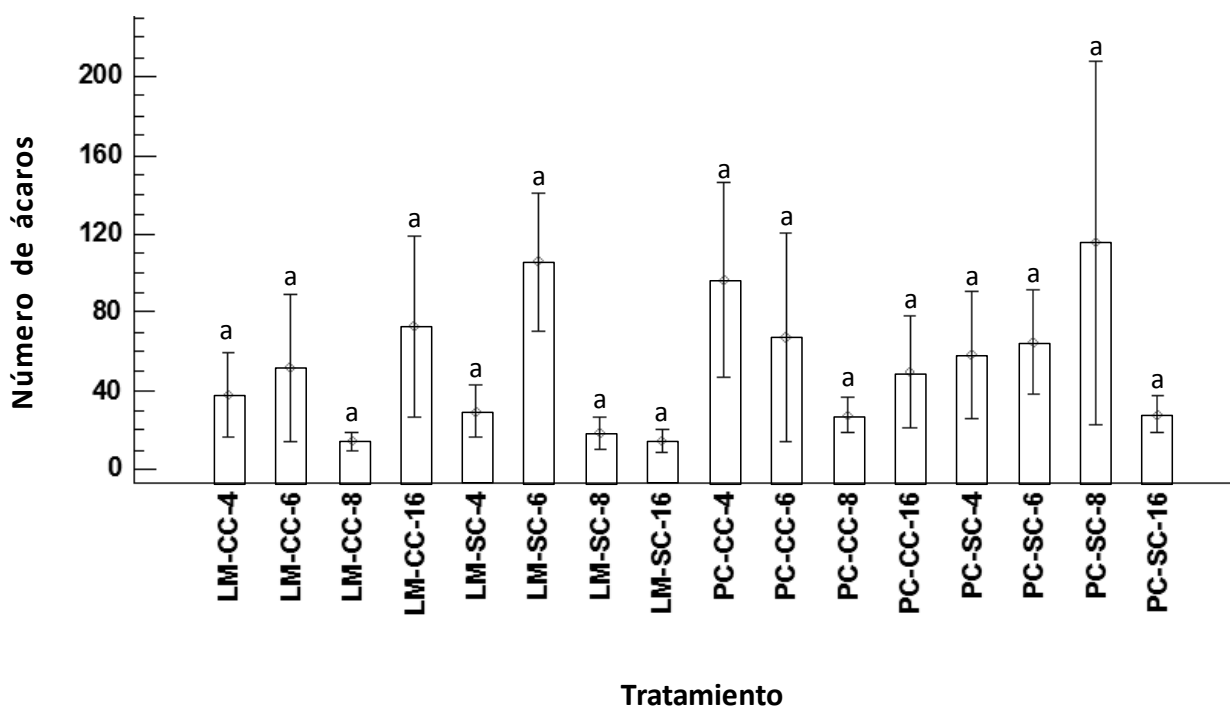


Figura 6. Efecto de los tratamientos sobre el número de ácaros. Letras iguales indican que no existe diferencia significativa por efecto de los tratamientos ($P < 0.05$). LM=Labranza mínima, PC=Preparación completa, C/C=con composta, S/C=sin composta, 4, 6, 8, y 16=plantas por m^2

En lo que respecta al número de colémbolos encontrados, a pesar de que tampoco se observó una diferencia significativa ($P > 0.05$) por efecto de los tratamientos sobre ésta variable, se distingue una tendencia más estable en la labranza mínima, mientras que en la labranza convencional el comportamiento es

más heterogéneo (Figura 7), posiblemente este aspecto podría ser atribuido al movimiento de suelo ejercido en la labranza convencional, que genera un cambio en la retención de humedad en suelo tal como lo indican Jeréz *et al.* (2004).

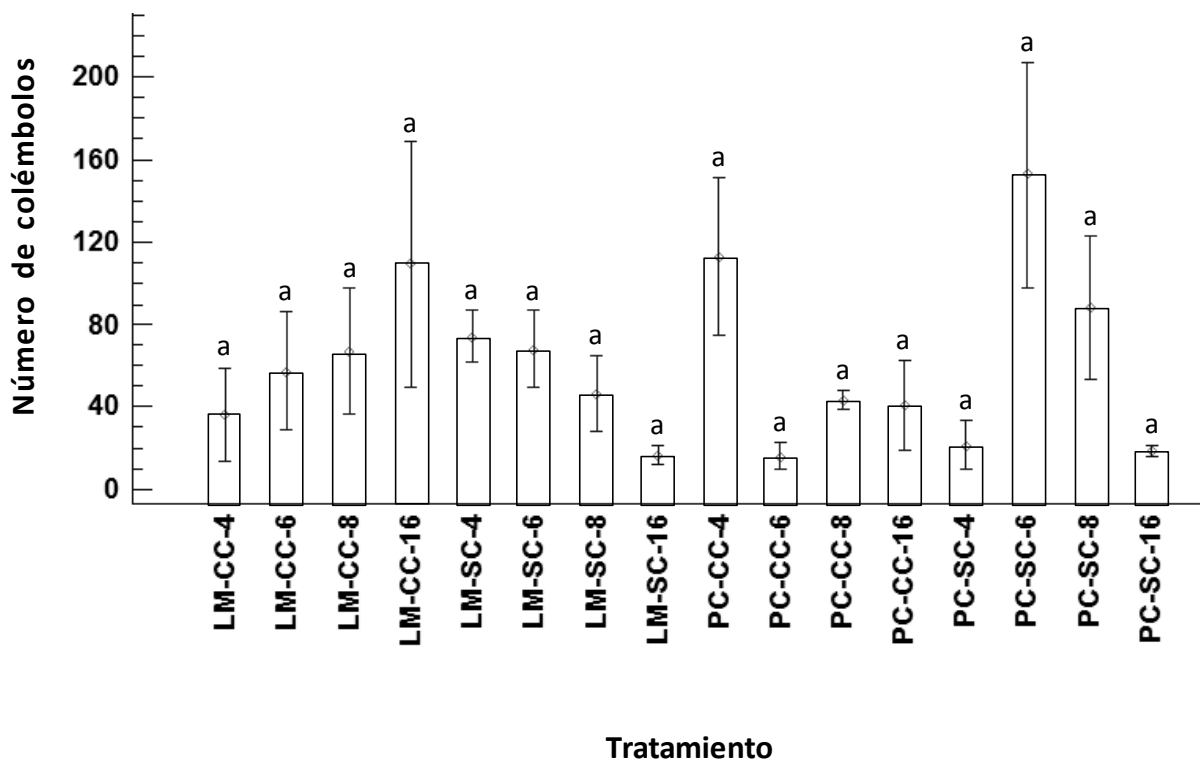


Figura 7. Efecto de los tratamientos sobre el número de colémbolos. Letras iguales indican que no existe diferencia significativa por efecto de los tratamientos ($P < 0.05$). LM=Labranza mínima, PC=Preparación completa, C/C=con composta, S/C=sin composta, 4, 6, 8, y 16=plantas por m^2

A pesar del carácter oportunista de los colémbolos a la presencia de materiales orgánicos, es posible que las poblaciones de colémbolos no alcancen a responder a las aplicaciones de composta debido a que ésta materia ya presenta una tasa de descomposición avanzada, ya que como bien señalan Castaño *et al.* (2004) los grupos de colémbolos presentes en áreas cultivadas se alimentan

principalmente de material vegetal, esporas de hongos, conidias mitosporicas y *Alternaria sp.* Ness.

VIII CONCLUSIONES

En el cultivo de *Vicia faba* L. en la región de Zaragoza, Puebla, México, se puede aplicar la labranza mínima como sistema de preparación del suelo, sin que esto afecte el rendimiento del cultivo.

El incremento de la densidad de siembra es una buena opción para elevar los rendimientos productivos por unidad de superficie.

Dependiendo de la tasa de mineralización que presenten las compostas, su aplicación al suelo cultivado puede no ser una actividad que contribuya al incremento de poblaciones faunísticas, sino más bien microbiológicas ya que éstas son las que prosiguen la liberación de nutrientes para las plantas.

El manejo adecuado del cultivo de *V. faba* y la generación de estrategias para el fomento de la biodiversidad funcional tanto en suelo como en la parte aérea de la planta, pueden elevar los rendimientos de la especie, mejorando las condiciones ecológicas del agroecosistema y brindando mejores beneficios a los productores.

El rendimiento productivo de *V. faba* varió en función de la preparación del suelo, densidad de siembra, fertilización, mientras que diversidad y abundancia de insectos, la mesofauna, y la nodulación no se vieron afectadas por los tratamientos.

IX RECOMENDACIONES

Los tratamientos probados no tuvieron efectos significativos sobre la diversidad y abundancia de insectos asociados, sin embargo, se requiere conocer las relaciones que se presentan entre las diferentes especies asociadas al cultivo con el fin de proponer un manejo integrado de plagas que nos permita alcanzar la sostenibilidad del sistema. En todo caso también es recomendable evaluar el comportamiento de la biodiversidad en parcelas aisladas, para cada tratamiento, con el fin de obtener resultados contundentes al respecto.

La aplicación de composta puede emplearse como estrategia de mejoramiento de suelos, sin embargo ésta debe ser programada a lo largo del tiempo y los resultados deben ser evaluados durante varios periodos con el fin de obtener mejores resultados, sin embargo se deben considerar otras estrategias como la incorporación de residuos de cosecha, si lo que se busca es mantener estables las poblaciones de mesofauna en el suelo.

X LITERATURA CITADA

- Altieri, M.A. y Nichols, C.I. 1994. Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas. Icaria editorial. Barcelona, España. 215 pp.
- Altieri, M. A. y Nicholls C.I. 2000. Dimensiones Multifuncionales de la Agricultura Ecológica en América Latina. En: Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. 1ª edición. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe. México, D. F. 82 pp.
- Altieri, M.A. y Nicholls C.I. 2004. Biodiversity and pest management in agroecosystems: Binghamton USA: Food Products Press. 256 pp.
- Altieri, M.A. y Toledo V.M. 2011. The agroecological revolution of Latin America: rescuing nature, securing food sovereignty and empowering peasants. The Journal of Peasant Studies. 38(3):587–612.
- Ayaz, S.; McKenzie B.A. y Hill G.D. 2004. Variability in yield of four grain legume species in a subhumid temperate environment. II. Yield components. Journal of Agricultural Science. (124)21:28.
- Azapour, E.; Bidaright S., Moraditochae M., Khosravi D.R., Reza B.H. y Bakian M. 2012. Path coefficient análisis of seed yield and its components in faba bean (*Vicia faba* L.) under nitrogen and zinc management. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 4 (21) 1559:1561.
- Bautista, M.D.; Herrera C.B.E., Ramírez J.J., Aliphath F.M., y Delgado A.A. 2008. Conocimiento campesino en la selección de variedades de haba (*Vicia faba* L.) en la sierra norte de Puebla, México. Interciencia. México. 33(08)610:615.
- Bakry, B.A.; Elewa T. A., El-karamany M.F., Zeidan M.S. y Tawfik M.M. 2011. Effect of row spacing on yield and its components of some faba beans

- (*Vicia faba* L.) varieties under Newly Reclaimed Sandy Soil Condition. World Journal of Agricultural Sciences. 7(1) 68-72.
- Bergareche, C.; Vidal D., y Simón E. 1988. Componentes de la producción en un cultivo de *Vicia faba* L. sometido a fertilización nitrogenada. Arxius. Escuela superior de Agricultura. Barcelona. España. (11) 43:58.
- Beuchamp, C. J.; Kloepper W. J., Shaw J., y Chalifour F.P. 2001. Root colonization of faba bean (*Vicia faba* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) by *Rhizobium leguminosarum* bv. viciae in the presence of nitrate–nitrogen. Canadian Journal of Microbiology. (47)1068:1074.
- Bolland, M.D.A.; Siddique K.H.M., y Bernnan R.F. 2000. Grain yield responses of faba bean (*Vicia faba* L.) to applications of fertilizer phosphorus and zinc. Australian Journal of Experimental Agriculture. (40)849:857.
- Burgos, S.A. y Anaya R. S. 2004. Los crisomelinos (Coleoptera: Chrysomelidae: Chrysomelinae) del estado de Morelos. Acta zoológica mexicana. 20(3)39:66.
- Caselín, C.S.; Carrillo S.J.L, Llanderal C.C. y Bravo M.H. 2003. Incidencia de *Macroductylus nigripes* Bates (coleoptera:melolonthidae) en maíz y haba en Tlaxcala Mexico. Agrociencia. 37(3)291-297.
- Castaño, M. G.; Palacios V. J.G, y Cutz P. L.Q. 2004. Feeding habits of Collembola and their ecological niche. Annales del Instituto de Biología. UNAM. Serie Zoologica. 75(1)135:142.
- Cartagena, M.C.; Viñolas A., y Galante E. 2002. Biodiversidad de tenebriónidos (Coleoptera: Tenebrionidae) en saladares ibéricos. Gea flora et fauna. Bulletí de la Institució Catalana d' Historia Natural. (70)91:104.
- Cao, Z.; Han X., Hu C.; Chen J., Zhang D., y Steinberger Y. 2011. Changes in the abundance and structure of a soil mite (Acari) community under long term

organic and chemical fertilizer treatments. *Applied Soil Ecology*. (49)131:138.

Chaieb, N.; Bouslama M., y Mars M. 2011. Growth and yield parameters variability among faba bean (*Vicia faba* L.) Genotypes. *Journal of Natural Product and Plant Resources*. 1 (2): 81-90. Consultado en línea el 31/11/12 en:<http://scholarsresearchlibrary.com/JNPPR-vol1-iss2/JNPPR-2011-1-2-81-90.pdf>.

CONEVAL. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. 2010. Medición de la Pobreza en México a escala municipal Consultado en línea el 30/11/12 en: <http://www.coneval.gob.mx/Medicion/Paginas/Medici%C3%B3n/Informaci%C3%B3n-por-Municipio.aspx>

Confalone, A.; Bande C.M.J., Ruiz N. B., y Sau F. 2006. Componentes del rendimiento en leguminosas de grano con posibilidades de ser utilizadas como forraje invernal en Galicia. *Pastos*. 34(2)177:192.

Confalone, A. 2008. Crecimiento y desarrollo del cultivo del haba (*Vicia faba* L.). Parametrización del submodelo de fenología CROPGROW–FABA BEAN. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. Argentina. 175 pp.

Cubero, J.I. 1974. On the evolution of *Vicia faba* L.. *Theoretical and applied genetics*. 45:47-51.

Dahmardeh, M.; Ramroodi M., y Valizadeh J. 2010. Effect of plant density and cultivar on growth, yield and yield components of faba bean (*Vicia faba* L.). *African Journal of Biotechnology*. 9(50) 8643-8647.

Daur, I.; Sepetoglu H., Bahadar M.K., Hassan G. y Ahmad K. I. 2008. Effect of different levels of nitrogen on dry matter and grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *Pakistan Journal of Botany*. 40(6)2453:2459.

- Daur, I.; Sepetoglu H., y Sindel B. 2011. Dynamics of faba bean growth and nutrient uptake and their correlation with grain yield. *Journal of Plant Nutrition*. 34:1360-1371.
- Davood, H. 2013. Phosphorus fertilizers effect on the yield component of faba bean (*Vicia faba* L.). *Annals of Biological Research*. 4(2) 181:184.
- De Giorgio, D.; y Fornaro F. 2004. Tillage systems for a sustainable growth of broad bean (*Vicia faba* L. Major) in a semiarid region of Southern Italy. *Memories, 13th International Soil Conservation Organization Conference – Brisbane*. Consultado el 10/12/2012 en:
<http://www.tucson.ars.ag.gov/isco/isco13/PAPERS%20AE/DE%20GIORGIO%20.pdf>
- Devi, K. N.; Basanta S. T., Singh A.H., Brajendra S. N. y Samurailatpam D. 2013. Influence of inorganic, biological and organic manure on nodulation and yield of soybean (*Glycine max* Merrill L.) and soil properties. *Australian Journal of crop science*. 7(9) 1407:1415.
- De vita, P.; Di Paolo E., Fecondo G., Di Fonzo N. y Pisante M. 2007. No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and tillage research*. (92)69-78.
- Duc G. 1997. Faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research* (53)99-109.
- El-Kotb, H.M.A. 2013. Combination effects of tillage systems and organic manures on some physio-chemical properties of calcareous soil and faba bean productivity. *New York Science Journal*. 6(12) 193:202.
- El-Metwally, I.M.; y Abdelhamid M.T. 2008. Weed control under integrated nutrient systems in faba bean (*Vicia faba* L.) production in Egypt. *Planta Daninha, Viçosa-MG*. 26 (3)585-594.

- Escalante, E.J.A.; y Rodríguez, G.M.T. 2011. Biomasa y rendimiento de haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fósforo. *Ciencias Agrícolas Informa*. México. 20(1):16-25.
- FAO/STAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2014. Consultado en línea el 12/03/2014 en: <http://faostat.fao.org/>.
- Flanagan, G.J.; Hills L.A., y Wilson C. G. 2000. The Successful biological control of Spinyhead, *Sidaacuta* (Malvaceae), by *Calligrapha phantherina* (Col:Chrysomelidae). *Proceedings of the X International Symposium on Biological Control of Weeds*. 34:41. Consultado en línea el 12/06/2014 en: <http://www.invasive.org/publications/xsymposium/proceed/01pg35.pdf>.
- Ghassemi, G.K.; Gahnehpoor S, y Mohammadi N.A.D. 2009. Effects of water limitation on growth and grain filling of faba bean cultivars. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7(3-4):442-447.
- Gomaa, A.M.; Afifi M.H.M., Mohamed M. F., y El-Dewiny C.Y. 2010. Nodulation, growth parameters and yield quality of faba bean cultivate in a newly reclaimed sandy soil under bio-organic agriculture system. *International Journal of Academic Research*. 2(5):134-138.
- Goyoaga, J.C. 2005. Estudio de factores no nutritivos en *Vicia faba* L. Influencia de la germinación sobre su valor nutritivo. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. ISBN: 84-669-2747-6. 84pp
- Guadarrama, Q.A; Escalante E.J.A., Rodríguez G.M.T., Sánchez G.P. y Sandoval C.E. 2007. Biomasa, proteína, taninos y rendimiento en haba en función del nitrógeno. *Terra latinoamericana*. México. (25):169-175.
- Gutierrez, R.M.; Reynolds M.P., Escalante E.J.A. y Larqué S.A. 2005. Algunas consideraciones en la relación entre fotosíntesis y el rendimiento de grano en trigo. *Ciencia ergo sum*. 12(2) 149-154.

- Jerez, V. C.; García A.P., Campos M., y Pascual F. 2014. A simple bioindication method to discriminate olive orchard management types using the soil arthropod fauna. *Applied Soil Ecology*. (76) 42:51.
- Jensen, E.; Steen P, Mark B, y Hauggaard-Nielsen H. 2010. Faba bean in cropping systems, *Field Crops Research*. 115(3) 203-216.
- Karadavut, U.; Palta Ç., Kavurmaci Z., y Bölek Y. 2010. Some grain yield parameters of Multi –environmental Trails in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *International Journal of Agriculture and Biology*. 12 (2) 217:220.
- Khalil, S. K.; Wahab A., Zaman K.A y Zaman K.A. 2011. Variation in leaf traits, yield and yield components of faba bean in response to planting dates and densities. *Egypt Academic Journal of Biology Sciences*. 2(1) 35:43.
- Koohafkan, P. 2010. Conservación y manejo sostenible de los sistemas importantes del patrimonio agrícola mundial (SIPAM). *Ambient@*. Consultado en línea el 12-02-2013 en:<http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/Parviz.htm>
- Köpke, U.; y Nemeck T. 2010. Ecological services of faba bean. *Field crops research*. (115)217:233.
- Kurdali, F; Al-Ain F., y Al-Shama M. 2002. Nodulation, dry matter production, and N₂ fixation by faba bean and chickpea as affected by soil moisture and potassium fertilizer. *Journal of Plant Nutrition*. 25(2)355:368.
- López-Bellido, L.; Benítez-Vega J., García P., Redondo R. y López-Bellido R.J. 2011. Tillage system effect on nitrogen rhizodeposited by faba bean and chickpea. *Field Crops Research*(120) 189:185.

- Lorente, I.; Gamon D., Gómez J.L., Santos R., Flores L., Camacho A., Galindo L. y Navarro J. 2004. Los efectos biológicos del cambio climático. *Ecosistemas*. 13(1)103-110.
- Muñoz, R. V.; López B.L. y López B.R.J. 2011. Faba bean root growth in a Vertisol: Tillage effects. *Field Crops Research*. (120)338:344.
- Mohamad, Z.A.G.; y Dennett. M.D.D. 2010. Responses of faba bean (*Vicia faba* L.) to different levels of plant available water: I. Phenology growth and biomass partitioning. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*. Malasia. 38(1)11–19.
- Montemurro, F.; y Maiorana M. 2014. Cropping systems, tillage and fertilization strategies for durum wheat performance and soil properties. *International Journal of Plant Production*. 8(1) 51-76.
- Munier, J.N., y Ney B. 1998. Seed growth rate in grain legumes. *Journal of Experimental Botany*. (49)1971:1976.
- Mwanamwenge, J.; Loss S.P., Siddique K.H.M. y Cocks P.S. 1998. Growth, seed yield and water use of faba bean (*Vicia faba* L.) in a short-season Mediterranean-type environment. *Australian journal of Experimental Agriculture*. (38)171:180.
- Nawar, A.I.; Al-Fraihat A.H., Khalil H.E.S., y El-Ela A.M.A., 2010. Response of faba bean to tillage systems different regimes of NPK fertilization and plant interspacing. *International Journal of Agriculture and Biology*. 12(4)606:610.
- Nelson, G.C.; Rosegrant M.W., Koo J., Robertson R., Sulser T., Zhu T., Ringler C., Msangi S., Palazzo A., Batka M., Magalhaes M., Valmonte-Santos R., Ewing M. y Lee D. 2009. Cambio climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto internacional de investigación sobre políticas alimentarias (IFPRI). Washington D.C.

- Newman, E I. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. *Journal of Applied Ecology* 3:139-45. Durham. 51pp
- Nuessly, G.S.; Hentz M.G., Beiriger R. y Scully B.T. 2004. Insects associated with faba bean *Vicia faba* L. (Fabales : Fabaceae), in southern Florida. *Florida entomologist* 87(2)204-211.
- Ochoa, H.R.; Rocha I., Stevens C.J., Manrique E., y Luciañez M.J. 2013. Simulated nitrogen deposition affects soil fauna from a semiarid Mediterranean ecosystem in central Spain. *Biol Fertil Soils*. (50)191:196.
- Panda, P.K.; Nandi A., Swain P.K., Patnaik S.K., y Patnaik M. 2012. Soil Admendment on Growth, Nodulation, Yield, Soil Health, and Economics of Cowpea. *International Journal of Vegetable Science*. (18)284:297.
- Parfitt, R.L.; Yeates G.W., Ross D.J., Mackay A.D., y Budding P.J. 2005. Relationships between soil biota, nitrogen and phosphorus availability, and pasture growth under organic and conventional management. *Applied Soil Ecology*. (28)1:13.
- Pichardo, R.J.C. 2010. Crecimiento y rendimiento de haba (*Vicia faba* L.) en ambientes contrastantes. Tesis de Doctorado. Especialidad en botánica. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco. México. 330 pp.
- Polidori, C.; Boesi R., Isola F., y Andretti F. Provisioning patterns and choice of prey in the digger wasp *Cercerisarenaria* (Hymenoptera: Crabronidae): the role of the prey size. *European Journal of Entomology*. (102)801:804.
- Prelipcean, C.; Mustata G., Andriev S. y Prelipcean A. 2004. Predators insects controlling *Aphis fabae* Scop. populations. *Analele Științifice ale Universității „Al.I.Cuza” Iași, s. Biologieanimală*, Tom L. 67-75.
- Rojas, T.J. 2011. Tecnología de producción de haba utilizada en comunidades de Puebla y Tlaxcala, México y características socioeconómicas de los

productores. Tesis de Maestría en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Colegio de Postgraduados. Puebla, Puebla, México. 52 pp.

Rosset, P.; Collins J., y Moore F. 2004. Revolución verde. Consultado en línea en: www.biotech.bioetica.org/docta20.htm

Saxena, M.C.; Silim S. N., y Matar, A. 1991. Agronomic management of faba bean for high yields. *Options Méditerranéennes. Série Séminaires* (10) 91:96.

Schon, N.L.; Mackay A.D., Hedley M.J., y Minor M. A. 2012. The soil invertebrate contribution to nitrogen mineralization differs between soils under organic and conventional dairy management. *Biol Fertil Soils* (48)31:42.

Serhat, O.M.; Uzun S., y Gülümser A. 2007. The Quantitative Effects of temperature and light on growth, development and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *International Journal of Agricultural Research*. 2(8) 667-676.

SIAP, Sistema de información agroalimentaria y pesquera. 2014. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consultado en línea el 14/06/2014 en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado>

Siddiky, R.K.; Kolher J., Cosme M., y Rilling M.C. 2012. Soil biota effects on soil structure: interactions between arbuscular mycorrhizal fungal mycelium and collembola. *Soil Biology and biochemistry*. (50)33:39.

Singh, A.K.; Bharati R.C., Manibhushan N.C., y Pedpati A. An assessment of faba bean (*Vicia faba* L.) current status and future prospect.2013. *African Journal of Agricultural Research*. 8(50) 6634-6641.

Van der Wal, A.; Geerts R.H.E.M., Korevaar H., Schouten A.J., Jagers G.A.J.M., Rutgers M., y Mulder C. 2009. Dissimilar response of plant and soil biota

communities to long-term nutrient addition in grasslands. *Biol Fertil Soils* (45)663:667.

Wnuk, A.; y Wojciechowicz-Żytka, E. 2010. The influence of intercropping broad bean with phacelia on the occurrence of weevils (*Sitona spp.*) and broad bean beetles (*Bruchus rufimanus* Boh.). *Folia Horticulturae*. Poland 22(2) 33:37.

Yan, F.; Schubert S., y Mengel K. 1992. Effect of Low Root Medium pH on Net Proton Release, Root Respiration, and Root Growth of Corn (*Zea mays* L.) and Broad Bean (*Vicia faba* L.). *Plant Physiology*. (99)415:421.

Zamar, M.I.; y Neder R.L.E. 2012. Asociación *Thysanoptera* (Insecta)-*Vicia faba* L. (Fabaceae) en la Prepuna y Puna de Jujuy, Argentina. *Biología tropical*. 60(1)119:128.