

Enriquecimiento de suelos a través del uso de abonos verdes y su efecto en cebada maltera (*Hordeum Vulgare L.*)

Rodríguez Sánchez I. A.^{a,*}, Jiménez Sánchez E.^a, Guzmán-Ortiz F. A.^b Román Gutiérrez A. D.^a

^aÁrea Académica de Química. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo, Km 4,5. Ciudad del Conocimiento, Mineral de la Reforma, 42184 Hidalgo, México. ^bInvestigador Cátedras-CONACyT comisionada a Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

* ro246230@uaeh.edu.mx, aroman@uaeh.edu.mx

RESUMEN:

El uso de abonos verdes como ayuda para la fijación biológica nitrógeno en sitios de cultivo ha presentado una alternativa no solo para obtener fuentes de nitrógeno, sino que también ayuda a mejorar las características del suelo, lo que a su vez influye en el rendimiento y en la calidad de los cultivos. Este estudio tiene como objetivo determinar el efecto que tiene el uso de abonos verdes en la producción de cebada maltera a través de la medición de sus indicadores agronómicos. Se utilizaron tres leguminosas cuyas capacidades para fijar nitrógeno habían sido estudiadas, obteniendo un mayor porcentaje de nitrógeno en el tratamiento compuesto por soya y alfalfa (T06), seguido por el tratamiento compuesto solo por la alfalfa (T03) y la combinación soya y frijol (T04). La cebada presentó un menor tamaño siendo la temperatura una característica que pudo influir en su crecimiento. Siendo los tratamientos T06 y T04 los que produjeron la mayor cantidad de cebada. Por lo que se sugiere que el uso de las combinaciones de leguminosas como abonos verdes presenta una buena alternativa para incrementar la producción de cebada maltera, así como mejorar los suelos de siembra sin el uso de fertilizantes químicos..

Palabras clave:

Abonos verdes, cebada, suelo, nitrógeno, soya, alfalfa

ABSTRACT:

Green manure as a help agent for biological fixation of nitrogen in crop fields is an important alternative, not only for having a nitrogen source but helps to develop better properties in the soil, this has an influence in the yield and quality of the crops. This research have as principal objective to determinate the effect of the green manure in the malting barley using the agronomic indicators. We use three legumes with nitrogen fixation capacity having an increase of nitrogen in the treatments with the soy bean and alfalfa mix (T06), followed for the T03 (alfalfa only) and finally the T04 (soy bean and common bean). The barley was smaller because an abrupt temperature change. The treatments T06 and T04 produce the most of barley. This suggest that the legume mixes as green manure is a good alternative to increase the yield of barley, and improve the soil properties without chemical fertilizers..

Keywords:

Green manure, barley, soil, nitrogen, soy bean, alfalfa

Área: Cereales, leguminosas y oleaginosas

INTRODUCCIÓN

La cebada es uno de los cereales con mayor producción a nivel nacional después del maíz, trigo y arroz, tiene como usos principales la elaboración de alimento para ganado y la elaboración de malta de cerveza, es por ello que representa una parte fundamental de la economía del estado de Hidalgo, el cual ocupa el segundo lugar de producción anual de cebada maltera. De acuerdo con datos de SAGARPA del 2000-2014 se han registrado tendencias a la baja en la producción de cebada maltera en los últimos años, esto debido a la utilización y sobreexplotación de los suelos durante más de 40 años, provocando de este modo un deterioro de la calidad del suelo y por ende su capacidad productiva, es por ello que con este trabajo se quiere desea evaluar la influencia que

tienen los abonos verdes en el suelo para siembra y en el grano de cebada maltera para así poder una alternativa de siembra y obtener un suelo del cual la cebada pueda adquirir todos los compuestos y nutrientes necesarios para su crecimiento y desarrollo óptimo.

Hidalgo es el segundo mayor productor de cebada a nivel nacional. En los últimos años se registró una disminución en el rendimiento del grano debido a la sobreexplotación de la agricultura convencional, debido principalmente a que las siembras son llevadas a cabo sucesivamente, sin la implementación de un sistema de rotación de cultivos. En el estado se ha utilizado desde hace un poco más de 40 años, el mismo suelo de cultivo, conduciendo de esta forma a un deterioro de la calidad del suelo y por ende su capacidad productiva, principalmente por procesos erosivos y balances negativos de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P). A causa de ello se ha buscado una nueva alternativa que nos permita regenerar el suelo para el óptimo desarrollo de la cebada maltera.

La utilización de abonos verdes para mejorar los aspectos anteriormente señalados ha surgido como una alternativa eficaz, reproducible y de fácil acceso para los agricultores. Gracias a esta técnica el suelo obtiene mayor contenido de materia orgánica, mejora sus propiedades físicas y edafológicas. Es por eso que la presente investigación busca evaluar la influencia que tienen los abonos verdes en el suelo para siembra y en el grano de cebada maltera, para poder determinar si esta clase de alternativas realmente ayudan a la regeneración de los nutrientes en el suelo y al desarrollo óptimo del grano mostrando este último una mayor calidad nutricional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección de suelo: Se realizó la recolección del suelo de una parcela localizada en Zabilon, Almoloya cuyas coordenadas geográficas son 19°42'12"N y 98°24'12"O, la cual es utilizada para siembra de cebada en el Estado de Hidalgo.

Determinación de pH: Pesar 10 g de suelo y colocar en un vaso de precipitado de 250 ml. Adicionar al vaso de precipitado 20 ml de una solución de KCl 1 M y posteriormente se agita manualmente a intervalos de 5 minutos durante 30 minutos. Posteriormente dejar reposar durante 15 minutos. La medición del pH se realiza en el sobrenadante de la suspensión y se registrará el valor de pH (SEMARNAT, 2002).

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): Se pesan 2 g de suelo, previamente tamizado y se colocan en un tubo de centrifuga de 50 ml. Se añade al tubo 25 ml de una solución de intercambio A (se disuelven 62 g de BaCl₂·2H₂O en 500 ml de agua destilada. Añadir 25 ml de trietanolamina y completar hasta 800 ml con agua destilada. Ajustar el pH a 8.1 y posteriormente aforar a un litro), y agitar durante 2 minutos.

Se realiza una segunda centrifugación durante 5 minutos a 3000 rpm. Se separa el sobrenadante y al precipitado se le añade 25 ml de solución de cambio B (12.5 g de MgSO₄·H₂O en agua y aforar a un litro), agitar por un minuto con una varilla de vidrio y centrifugar a 3000 rpm durante cinco minutos.

10 ml del sobrenadante obtenido se vierten dentro de un matraz Erlenmeyer de 250 ml y se diluyen a 100 ml con agua destilada. Como blanco se toman 10 ml de la solución de intercambio B, se vierte dentro de un matraz Erlenmeyer de 250 ml y se diluyen a 100 ml con agua destilada.

Añadir a cada matraz Erlenmeyer 10 ml de la solución tampón y 6 gotas de indicadores de negro de ericromo T. Finalmente valorar con EDTA al 0.05 N hasta la aparición de un color azul. Una vez obtenido los ml de EDTA utilizado se utiliza la Ec. (1) (SEMARNAT, 2002; INE, SEMARNAT, 2006):

$$CIC = \frac{(M - N) * 0.05 * 2.5 * 100}{P} \quad \text{Ec. (1)}$$

Dónde: CIC=capacidad de intercambio catiónico en Cmol/kg; M= ml de solución complejante empleados para valorar 10 ml de solución de cambio B; N= ml de solución complejante empleados para valorar 10 ml de extracto de suelo; P= peso en g de la muestra de suelo; 2.5=Factor de dilución (el suelo se extrajo con 25 ml de solución B, de los cuales sólo se usaron 10 para la valoración; 0.05= Concentración de la solución complejante

Diseño de tratamientos: Las plantas que serán utilizadas como abonos verdes fueron seleccionadas de acuerdo a características de raíz, tiempo de crecimiento y capacidad de fijación de nitrógeno como componente principal en mejoramiento de fertilidad del suelo (Fernández, Gepts, & López, 1986; Guamán Jiménez, 1991; Thompson & Troeh, 2002; De la Horra Ruiz, Serrano Comino, & Carlevaris Muñoz, 2008; Lara Flores, 2015). Los tratamientos serán diseñados en base al número de plantas, teniendo al menos 7 combinaciones diferentes, presentadas en la Tabla 1.

Tabla I: Tratamientos utilizados

Clave	Tratamiento	Clave	Tratamiento
T01F	Frijol + Cebada	T05FA	Frijol-alfalfa + Cebada
T02S	Soya + Cebada	T06AS	Alfalfa-soya + Cebada
T03A	Alfalfa + Cebada	T07FSA	Frijol-soya-alfalfa + Cebada
T04FS	Frijol-soya + Cebada	TControl	Solo cebada

Recolección de suelos para estudio en maceta: Se usarán macetas con capacidad de 4 Kg de 21 cm de diámetro y 16 cm de profundidad. Los riegos se realizarán dos veces al mes, adicionando 500 ml de agua por maceta. El número de macetas a montar serán 180 (7 tratamientos y un control con 20 réplicas cada uno), cada sistema contendrá un tamaño aproximado de semillas para abono y semillas de cebada, distribuidas en distancias aproximadamente iguales.

Siembra y elaboración de abonos verdes: Se llevó a cabo el cultivo inicial de las leguminosas con semillas certificadas (frijol, soja y alfalfa) usando 30 g de leguminosa por tratamiento (en el caso de los tratamientos con dos leguminosas 15 g por leguminosa, mientras que el tratamiento con las tres leguminosas se colocaron 10 g de cada una) y como sustrato el suelo previamente caracterizado.

Posteriormente al inicio de floración se extraerán las plantas de raíz y se incorporarán al suelo de la maceta en cortes; posteriormente se dejarán por 40 días para su degradación en el sustrato de la maceta. La siembra se realizó el 26 de febrero del 2017 y el corte de estas se llevó a cabo entre el 3 y el 7 de abril.

Determinación de nitrógeno total del suelo: Para la determinación de nitrógeno inorgánico se utilizará el método Kjeldahl descrito en la NOM-021-RECNAT-2000 con modificaciones de acuerdo a lo presentado en el manual de técnicas de análisis de suelos (SEMARNAT, 2006). La medición se realizará al principio del tratamiento, con el suelo sin modificaciones y con el suelo después de haber sido sometido al tratamiento con abonos verdes.

Se pesan 0.2 g de suelo y se colocan en un matraz kjeldahl y al cual se le adicionan 2 gramos de una mezcla de catalizadores (mezcla de 10 g de K_2SO_4 y 1 g de $CuSO_4$) y 5 ml de H_2SO_4 concentrado, los tubos se colocaron en el digestor y gradualmente se calentaron hasta 400 °C, hasta que la mezcla tenga un color azul claro/turquesa, una vez acabada la digestión tapar los tubos kjeldahl y dejar enfriar. Posteriormente adicionar 25 ml de agua destilada y mezclar vigorosamente hasta disolver los cristales formados.

A la mezcla se adicionan 15 ml de NaOH al 30% se realiza una destilación, colocar a la salida del destilador un matraz Erlenmeyer con 10 ml de una solución de H_3BO_3 con indicador (20 g de H_3BO_3 , disueltos en 750 ml de agua destilada. Después agregar 20 ml de una mezcla de indicadores: 0.099 g de verde de bromocresol y 0.066 g de rojo de metilo disueltos en 100 ml se alcohol etílico al 96%. El pH del indicador debe de ser de 5.0) y destilar hasta alcanzar aproximadamente los 30 ml.

Titular con una solución de ácido clorhídrico hasta que la coloración cambie de una coloración verde a un rosado fuerte. Es necesario la preparación de un blanco con todos los reactivos necesarios excepto la muestra, este se titula y su volumen se resta a las demás muestras en la titulación. Utilizando la Ec. 2 para calcular la cantidad de nitrógeno en la muestra:

$$\text{Nitrógeno (\%)} = \frac{(T - B)(N)(1.4)}{S} \quad \text{Ec. (2)}$$

Rodríguez Sánchez, et al. / vol.4 (2019)

Dónde: T= mL de ácido clorhídrico gastados en la valoración de la muestra; B= mL de ácido clorhídrico gastados en la valoración del blanco; N= Normalidad del ácido clorhídrico; S= peso de la muestra.

Siembra de cebada: Una vez pasado el tiempo de incorporación de los abonos verdes (40 días), se procederá a la siembra del grano en la maceta, y se supervisará su germinación.

Durante la siembra y en general durante todo su desarrollo no se utilizará fertilizantes químicos, pesticidas y se mantendrá un riego dos veces al mes con adiciones de 500 mL de agua. Se utilizarán semillas certificadas de cebada (*Hordeum vulgare*) variedad “Josefa”, provenientes de la unión estatal de productores de cebada del estado de Hidalgo, por lo tanto estas semillas no pasarán por ningún proceso previamente a la siembra (Prieto Méndez, 2011).

Evaluación de indicadores agronómicos y de rendimiento: Durante el desarrollo de la planta se realizará un monitoreo cada 3 semanas observando los cambios que se presenten entre grupos control y tratamientos (longitudes de partes aéreas). A todas las plantas que lleguen al final del cultivo (120 días) se les realizará una medición de la parte aérea (cm). Así mismo se realizará de igual manera la medición de factores relevantes en producción como: número de espigas de la planta, número de granos en cada espiga, longitud de la espiga y peso de semillas obtenidas por planta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de pH y capacidad de intercambio catiónico (CIC): en la Tabla 2 tenemos los resultados de las determinaciones realizadas al suelo para conocer algunas de las características más importantes para el desarrollo de las plantas.

Tabla II: Determinaciones del suelo

pH	5.81±0.06
Capacidad de intercambio catiónico	19.38

Al comparar el pH obtenido por nuestra muestra con lo presentado por Boulding (1995) y por la SEMARNAT (2002) entraría en la clasificación de **moderadamente ácido**. Esto pudiéndose deber a la presencia de iones como aluminio (SEMARNAT, 2002) o debido a la presencia de materia orgánica el cual puede modificar e pH del suelo debido a la degradación producida por diversos microorganismos o incluso a los fertilizantes utilizados (Tian & Niu, 2015).

Una vez obtenido los resultados de pH se pudo determinar las condiciones adecuadas para el cálculo de la capacidad de intercambio catiónico pudiendo obtener **una capacidad de intercambio catiónico de 19.38**. De acuerdo a la clasificación presentada en la NOM-021-RECNAT-2000 nuestra muestra de suelo presenta una fertilidad media.

En general el suelo analizado presenta buenas características para el uso que se da al suelo (agricultura) de acuerdo a lo presentado en el análisis de textura, pH y CIC. Por su naturaleza en el caso de la textura al obtenerse un suelo con textura entre franco y franco areno arcilloso nos indica una adecuada retención de agua nutrientes, buena aireación, buena penetración de raíces y se trabajan con poca resistencia, sin embargo presenta una gran dureza cuando el suelo se encuentra húmedo y posteriormente se seca (Rucks, Grarcía, Kaplán, Ponce de León, & Hill, 2004; SAGARPA, 2015)

El pH obtenido presentó características acidas lo que nos indica ciertas deficiencias en la capacidad de intercambio de cationes, algo que después con el análisis de la CIC se confirmó este resultado al obtener una capacidad de intercambio catiónico medio (Rucks, Grarcía, Kaplán, Ponce de León, & Hill, 2004; SAGARPA, 2015).

Determinación de nitrógeno orgánico del suelo: En la Fig. 1 podemos observar los resultados obtenidos de la prueba de nitrógeno kjeldahl teniendo al tratamiento 06, compuesto por la combinación de soya y alfalfa, como el tratamiento que tuvo un mayor porcentaje de nitrógeno, seguido por el tratamiento 03, y en tercer lugar el tratamiento 04.

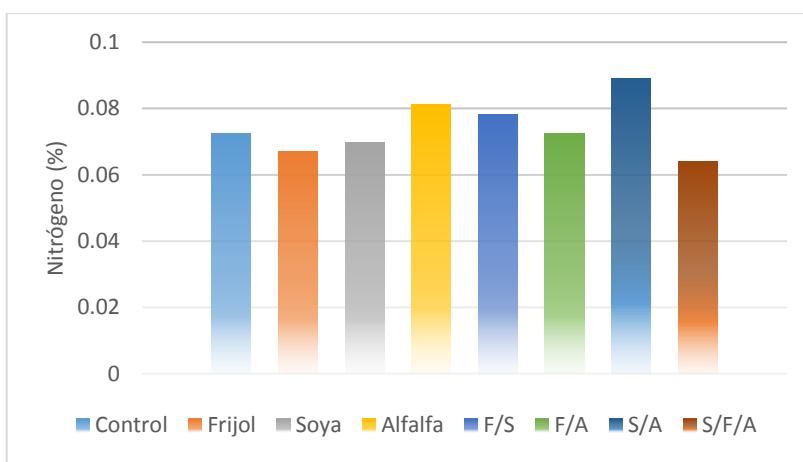


Figura 1: porcentaje de nitrógeno obtenido

En la medición de nitrógeno obtuvimos un porcentaje de nitrógeno (%N) de 0.072 para el tratamiento control, un contenido de nitrógeno bajo, de acuerdo con lo estipulado en la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). De hecho todos los resultados obtenidos de los diferentes tratamientos representan un contenido de nitrógeno bajo.

Sin embargo se obtuvieron dos casos en los que el %N fue menor que el obtenido por el tratamiento control, estos fueron el T01, compuesto de frijol y el T07, que fue la combinación de las 3 leguminosas utilizadas. Este resultado pudo deberse (en el caso del T01) a que el frijol comercial presenta una pobre fijación de nitrógeno en suelos con una baja cantidad de este, debido a que su temporada de crecimiento es rápido (Bliss *et al* 1989), crecimiento que se pudo observar en la Tabla 5.

Sin embargo ha sido documentado que algunas variaciones genéticas del frijol han sido útil para la fijación del nitrógeno en suelos pobres (Chaverria & Graham, 1992; Hardarson *et al*, 1993). Bliss (1993) sugiere que puede haber una crianza de frijol común para que exista una mejor fijación de nitrógeno en suelos con bajo %N o para que pueda tener una mayor tolerancia en suelos con un alto contenido de nitrógeno.

Para el caso del T07, se tiene el menor contenido de nitrógeno de todos los tratamientos ya que a pesar de que la soya es usada en la fijación de nitrógeno, y puede fijar grandes cantidades de este (Herridge & Bergersen, 1988), el frijol puede presentar un efecto competitivo, lo que influye de manera negativa en la capacidad de absorción de nutrientes, la fijación de nitrógeno que puede aportar la alfalfa y la soya y por lo tanto perjudicar su tasa de crecimiento (Kai-yun *et al*, 2015).

En contraste, el tratamiento compuesto exclusivamente por la soya (T02) tuvo un menor contenido de nitrógeno que el tratamiento control. Pudiéndose deber a la baja tasa de formación de nódulos en la parte inferior de la raíz debido probablemente a la textura del suelo (Hardarson, Golbs, & Danso, 1989) el cual al no permitir una expansión adecuada de las raíces limita el contacto que tienen estas con los microorganismos en el suelo, provocando que haya nódulos presentes en la parte superior de la raíz y pocos en la parte inferior, lo que influye en la cantidad de nitrógeno fijada.

Al observar el tratamiento que se encuentra formado por la soya y el frijol podemos observar que a diferencia de los tratamientos individuales, estas dos leguminosas presentaron una buena fijación de nitrógeno debido a un efecto de cooperación mutua (Willey, 1979)

En los tratamientos compuestos por la alfalfa (T03) y su combinación con la soya (T06) tuvimos los mayores porcentajes de nitrógeno, esto es debido a que la alfalfa tiene una buena capacidad de fijación en suelos con bajo contenido de nitrógeno (Kai-yun *et al*, 2015) cuando solo esta presente la alfalfa, además de poder crecer en suelos con alto alcalinidad y con baja capacidad de retención de agua, ayuda a combatir la erosión del suelo así como aumentar su fertilidad (no solo incrementando la cantidad de oxígeno mediante la fijación, sino que también incrementando el contenido de materia orgánica (Povorov & Tikhonovich, 2003; Russelle *et al*, 2001; Jia *et al*, 2013).

Evaluación de los indicadores agronómicos de la cebada: Durante quince semanas se midió el tamaño del tallo que tenía la cebada, en la Fig. 2 podemos observar como el tratamiento compuesto por la soya y la alfalfa (T06) presentó un mayor crecimiento al final de las quince semanas llegando a una altura de 40 centímetros, seguido por la soya cuya altura llego a los 30 centímetros, mientras que para el caso de la alfalfa y la combinación de las tres leguminosas presento un altura cercana a los 34 centímetros de altura.

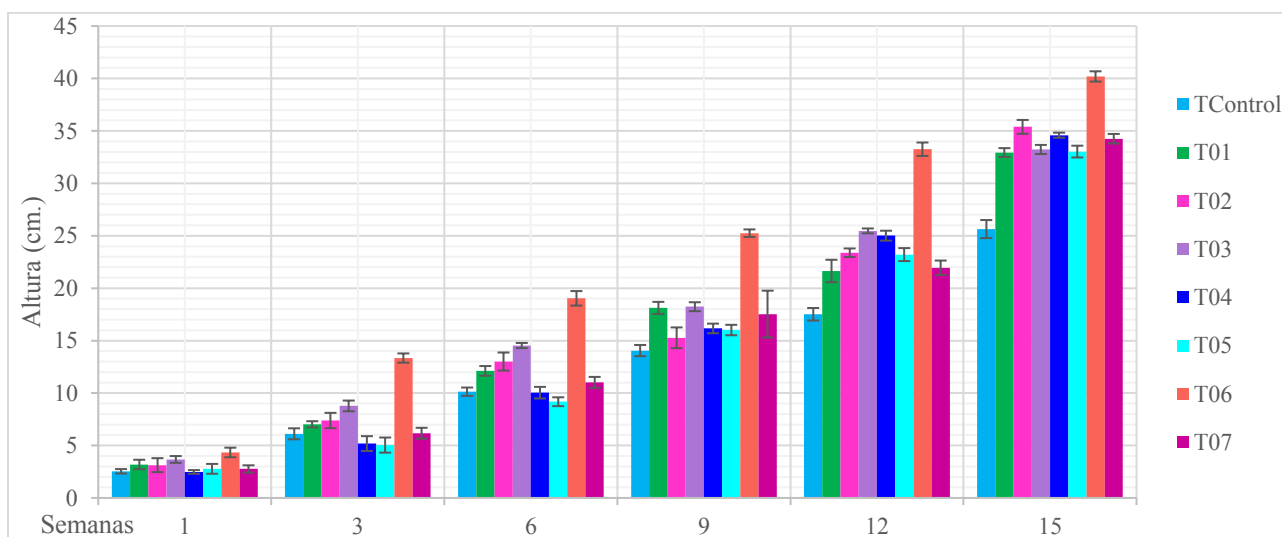


Figura 2: Altura de la cebada en diferentes semanas de medición

Por su parte, el tratamiento control (TControl) presentó el menor tamaño de todos los tratamientos con 26 centímetros de altura al final de las quince semanas.

Esta diferencia de altura que tuvieron los tratamientos en comparación con la altura que presenta la cebada de forma normal en campo abierto (pudiendo presentar una altura entre los 75 y los 90 cm dependiendo de la variedad (INIFAP, 1997)) puede deberse a las diferencias de temperatura que hubo dentro del invernadero durante el desarrollo del cultivo. Los tratamientos se encontraban a diferentes distancias de la fuente principal de sol.

La temperatura tiene una gran influencia en el crecimiento y desarrollo del cultivo, afectando los procesos de crecimiento de hojas y la tasa relativa de crecimiento (Milthorpe, 1959; Kirby, 1995), la formación de la espiguilla terminal, la iniciación de la floración y la madurez fisiológica de la cebada en general (Kirby, 1995; López-Castañeda & Richards, 1994).

Posterior al periodo de crecimiento del cultivo se procedió a cortar las espigas de la cebada. Estas espigas fueron contadas, se realizó una medición de su longitud y se realizó un conteo del número de granos en cada una de las espiguillas, por último con esta información obtuvimos la cantidad de granos obtenidos por tratamiento, así como el rendimiento.

En la Tabla 3 observamos los indicadores que fueron medidos una vez que la cebada presentó el crecimiento adecuado y fue cortada. Se midieron el número de espigas, la cantidad promedio de granos en las espigas así como su longitud y el número de granos totales para cada uno de los diferentes tratamientos.

En general, el T01 presentó la menor cantidad de espigas, granos de todos los tratamientos, incluso del tratamiento control, sin embargo este último presentó la cantidad de granos por tratamiento y la longitud de las espigas más baja de todos.

En comparación, tenemos a T06 y al T04, con la mayor cantidad de granos de todos los tratamientos. Los tratamientos 03, 04, y 06, presentaron la mayor cantidad de granos por espiga, sin embargo el primero de estos tuvo una menor cantidad de granos en comparación con los otros dos.

Para el caso del T07, se obtuvo una cantidad de granos cercana a lo presentado por el T02, así como el mayor número de espigas por tratamiento. Esto puede deberse a que después del corte y la incorporación al suelo de las leguminosas que crecieron (mayoritariamente frijol), algunos granos de soya y alfalfa pudieron crecer fijando nitrógeno, teniendo un efecto simbiótico (LaRue, 1978; Herridge & Bergersen, 1988; Herridge & Rose, 2000)

Tabla III: Indicadores agronómicos de la cebada

	Número de espigas	Cantidad de granos por tratamiento	Longitud de la espiga por tratamiento (cm)	Número total de granos
Tcontrol	45	15.5	3.3	698
T01	28	16.1	10.5	450
T02	47	19.9	18.1	933
T03	36	22.1	13.0	796
T04	45	23.7	10.9	1067
T05	37	18.4	11.4	680
T06	49	22.3	13.2	1095
T07	50	19.7	10.4	985

CONCLUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos concluir que, con la utilización de leguminosas como abonos verdes se pudo lograr el enriquecimiento del suelo cebadero incrementando el contenido de nitrógeno. Así mismo se obtuvo un mayor número de espigas y de granos por espiga en la cebada, consiguiendo mejores resultados con los tratamientos compuestos por la mezcla de alfalfa-soya, seguido por frijol-soya alfalfa y alfalfa por lo que el empleo de dichas leguminosas puede presentar una buena alternativa para incrementar la producción de la cebada maltera y mejorar los suelos de siembra sin la utilización de productos químicos.

BIBLIOGRAFÍA:

- Bliss, F. A. (1993). Breeding common bean for improved biological nitrogen fixation. *Plant Soil*(152), 71-79.
- Bliss, F. A., Pereira, P. A., Araujo, R. S., Henson, R. A., Kmiecik, K. A., McFerson, J., . . . da Silva, C. C. (1989). Registration of five high nitrogen fixing common bean germplasm lines. *Crop Sci*(29), 240-241.
- Boulding, J. R. (1995). *Description and sampling of contaminated soils. A field guide* (Segunda ed.). Lewis publishers.
- Chaverria, M. H., & Graham, P. H. (1992). Cultivar variation in traits affecting early nodulation of common bean. *Crop Sci*(32), 1432-1436.
- Cruz-Colazo, J., & Buschiazzo, D. (2015). The Impact of Agriculture on Soil Texture Due to Wind Erosion. *Land Degradation & Development*, 26(1), 62-70.

- Camacho-Tamayo, J. H., Forero-Cabrera, N. M., Ramírez-López, L., & Rubiano, Y. (2015). Evaluación de textura del suelo con espectroscopía de infrarrojo cercano en un oxsol de Colombia. *Colombia Forestal*, 20(1), 5-18.
- De la Horra Ruiz, J. L., Serrano Comino, F., & Carlevaris Muñiz, J. J. (2008). En J. L. de la Horra Ruiz, F. Serrano Comino, & J. J. Carlevaris Muñiz, *Estudio de los suelos del Campo de Calatrava (Ciudad Real) y sus condiciones de fertilidad*. (págs. 113-115). Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Dixon, R., & Kahn, D. (2004). Genetic regulation of biological nitrogen fixation. *Nature Reviews Microbiology*(2), 621-631.
- Fernández, F., Gepts, P., & López, M. (1986). *Etapas de desarrollo de la planta de frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. Cali, Colombia: CIAT.
- Hardarson, G., Bliss, F. A., Cigales-Rivero, M. R., Henson, R. A., Kipe-Nolt, J. A., Longeri, L., . . . Tsai, S. M. (1993). Genotypic variation in biological nitrogen fixation by common bean. *Plant Soil*(152), 59-70.
- Hardarson, G., Golbs, M., & Danso, S. K. (1989). Nitrogen fixation in soybean (*Glycine Max L. Merrill*) as affected by nodulation patterns. *Soil Biol. Biochem.*, 21(6), 783-787.
- Herridge, D. F., & Bergersen, F. J. (1988). Symbiotic Nitrogen Fixation. En J. R. Wilson (Ed.), *Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystems* (págs. 46-65). Wallingford, Reino Unido.
- Herridge, D., & Rose, I. (2000). Breeding for enhanced nitrogen fixation in crop legumes. *Field Crops Research*(65), 229-248.
- Intituto Mexicano de Ecología & Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2006). Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación. D.F., México.
- Jia, R. Z., Wang, E. T., Liu, J. H., Li, Y., Gu, J., Yuan, H. L., & Chen, W. X. (2013). Effectiveness of different Ensifer meliloti strain-alfalfa cultivar combinations and their influence on nodulation of native rhizobia. *Soil Biology & Biochemistry*(57), 960-963.
- Kai-yun, X., Xiang-lin, L., Feng, H., Ying-jun, Z., Li-qiang, W., Hannaway, D. B., . . . Fadul, G. M. (2015). Effect of nitrogen fertilization on yield, N content, and nitrogen fixation of alfalfa and smooth bromegrass grown alone or in mixture in greenhouse pots. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(9), 1864-1876.
- Lara Flores, M. (2015). El cultivo del frijol en México. *Revista Digital Universitaria*, 16 (2).
- LaRue, T. A. (1978). Selecting and breeding legumes for enhanced nitrogen fixation. En *Proceedings of a workshop* (pág. 23). Boyce Thompson Institute.
- Guamán Jiménez, R. (1991). *Morfología y Manejo del Cultivo de Soya*. Quito, Ecuador: INIAP.
- Prieto Mendez, J. (2011). *Causas medio ambientales que producen efecto de rechazo sobre el cultivo de cebada maltera (Hordeum distichum L.)*. Tesis Doctoral, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Área académica de Química, Pachuca, Hidalgo.
- Povorov, N. A., & Tikhonovich, I. A. (2003). Genetic resources for improving nitrogen fixation in legume-rhizobia symbiosis. *Genetic Resources and Crop Evolution*(50), 89-99.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades Físicas del suelo. Montevideo, Uruguay.
- Ruiz Cobos, J. M. (2016). *Operaciones auxiliares de preparación del terreno, plantación y siembra de cultivos agrícolas*. ic editorial.
- Russelle, M. P., Lamb, J. F., Montgomery, B. R., Elsenheimer, D. W., Miller, B. S., & Vance, C. P. (2001). Alfalfa rapidly remediates excess inorganic nitrogen at fertilizer spill site. *Journal of Environmental Quality*(71), 469-472.
- Scheublin, T. R. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi colonize nonfixing root nodules of several legume species. *Ner Phytol*(172), 723-738.

- Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación . (14 de septiembre de 2015). *COUSSA: Componente de Conservación y Uso Sustentable de Suelo y Agua*. Obtenido de Catálogo de obras y prácticas de conservación y uso sustentable de suelo y agua: <http://www.sagarpa.gob.mx/developmentRural/Paginas/tecnologiasatualcance.aspx> .
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales . (2002). *NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. Obtenido de http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=717582&fecha=31/12/2002
- Senbayram, M., Gransee, A., Wahle, V., & Thiel, H. (2015). Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant-soil continuum. *Crop & pasture Science*, 66, 1219-1229.
- Tian, D., & Niu, S. (2015). A global analysis of soil acidification caused by nitrogen addition. *Environmental Research Letters*, 10, 1-10.
- Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (2002). En L. M. Thompson, & F. R. Troeh, *Los suelos y su fertilidad* (Cuarta ed., págs. 321-322). España: Reverté.
- Udvardi, M., & Pool, P. S. (2013). Transport and metabolism in legume-rizobia symbioses. *Annual Review of Plant Biology*(64), 781-805.
- Wiley, R. W. (1979). Intercropping-its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. *Field Crop Abstracts*(32), 1-10.