



Uso potencial de *Lupinus exaltatus* Zucc. (Leguminosae) como abono verde en suelos de Jalisco, México

Potential use of *Lupinus exaltatus* Zucc. (Leguminosae) as green manure in soils of Jalisco, Mexico

Uso potencial de *Lupinus exaltatus* Zucc. (Leguminosae) como adubo verde em solos de Jalisco, México

Juan Francisco Zamora Natera¹ e Isidro Zapata Hernández^{2*}

¹Departamento de Botánica y Zoología. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. México. Correo electrónico jfzamoranatera@gmail.com,  ²Estancia Posdoctoral. Universidad Autónoma de Chiapas-Facultad de Ciencias Agronómicas. Carretera Ocozocoautla-Villafloraes km 84.5, Villafloraes, Chiapas, México. CP. 30470. AP. 78. Correo electrónico: chilo0602@hotmail.com, 

Resumen

El impacto ambiental que genera la agricultura con el uso excesivo de fertilizantes ha provocado la búsqueda de alternativas para mejorar la fertilidad del suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de *Lupinus exaltatus* en términos de descomposición y mineralización de Nitrógeno (N) al ser incorporados al suelo como abono verde (AV) y su efecto sobre el crecimiento de plántulas de *Triticum aestivum* L. Se utilizó la técnica de bolsas de descomposición, con un total de 216 bolsas de nailon (10 × 5 cm), en cada bolsa se colocaron 5 g base seca de AV en etapa vegetativa y floración. Posteriormente, las bolsas con AV se colocaron por separado en suelo Vertisol y Regosol a una profundidad de 5 cm; y cada tres semanas hasta finalizar la incubación, se recuperaron tres bolsas por tratamiento. Para evaluar el efecto del AV sobre el crecimiento del *T. aestivum* se estableció un experimento en macetas con suelo Regosol, consistió en incorporar 50 y 34 g base seca del AV (equivalente a 10 y 15 t.ha⁻¹). El AV en etapa vegetativa perdió en promedio 83,52 % de su peso inicial, mientras que en floración la pérdida fue del 76,49 %, el N mineralizado fue más alto en suelo Regosol que en Vertisol con 74,02 % y 70,58 %, respectivamente. Las plántulas de trigo presentaron 30 % más de

Recibido: 27-11-2020 • Aceptado: 20-03-2021.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: chilo0602@hotmail.com

materia seca y N con AV que el tratamiento control. *L. exaltatus* tuvo una rápida descomposición y mineralización de N en las primeras etapas de incubación.

Palabras clave: lupino, biomasa, descomposición, liberación de nutrientes, mineralización de N.

Abstract

The environmental impact generated by agriculture with excessive use of fertilizers has led to the search for alternatives to improve soil fertility. This study aimed to evaluate the potential of *Lupinus exaltatus* in terms of decomposition and mineralization of nitrogen (N) when incorporated into the soil as green manure (GM) and its effect on the growth of *Triticum aestivum* L. seedlings. Litter bags were used, with a total of 216 nylon bags (10 × 5 cm), in each bag were placed 5 g dry base of GM in the vegetative stage and flowering. Subsequently, the GM bags were placed separately Vertisol and Regosol soil at a depth of 5 cm; and every three weeks until the end of the incubation, three bags were recovered per treatment. For evaluation of the effect GM on *T. aestivum* growth experiment was established in pots with soil Regosol, it consisted of incorporating 50 and 34 g dry base of the GM (equivalent to 10 and 15 t.ha⁻¹). The GM in the vegetative stage lost an average of 83,52 % of its initial weight, while in flowering the loss was 76,49 %, the mineralized N was higher in Regosol soil than in Vertisol with 74,02 % and 70,58 % respectively. The wheat seedlings presented 30 % more dry matter and N with GM than the control treatment. *L. exaltatus* had a rapid decomposition and mineralization of N in the first stages of incubation.

Key words: lupine, biomass, decomposition, nutrient release, N mineralization.

Resumo

O impacto ambiental gerado pela agricultura com o uso excessivo de fertilizantes levou à busca de alternativas para melhorar a fertilidade do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de *Lupinus exaltatus* em termos de decomposição e mineralização do Nitrogênio (N) quando incorporado ao solo como adubo verde (AV) e seu efeito no crescimento de mudas de *Triticum aestivum* L. Foi utilizada a técnica do saco de decomposição, com um total de 216 sacos de náilon (10 × 5 cm), em cada saco foram colocados 5 g de base seca de AV em fase vegetativa e floração. Posteriormente, os sacos com AV foram colocados separadamente com Vertisol e solo de Regosol na profundidade de 5 cm; e a cada três semanas até o final da incubação, três bolsas foram recuperadas por tratamento. Para avaliação do efeito do AV sobre o crescimento do *T. aestivum* foi instalado um experimento em vasos com solo de Regosol, que consistiu na incorporação de 50 e 34 g de base seca do AV (equivalente a 10 e 15 t.ha⁻¹). O AV na fase vegetativa perdeu em média 83,52 % do seu peso inicial, enquanto na floração a perda foi de 76,49 %, o N mineralizado foi maior no solo Regosol do que no Vertisol com 74,02 % e 70,58

% respectivamente. As mudas de trigo apresentaram 30 % mais matéria seca e N com AV do que o tratamento controle. *L. exaltatus* tinha uma decomposição rápida e mineralização de N nas primeiras fases de incubação.

Palabras clave: tremoço, biomassa, decomposição, liberação de nutrientes, mineralização de N.

Introducción

La “Fijación Biológica del Nitrógeno” (FBN) es el proceso responsable de la transformación del mayor volumen de N atmosférico (N_2) a formas aprovechables por algunas especies de plantas. Esto ocurre mediante la simbiosis entre algunas bacterias del género *Rhizobium* o *Bradyrhizobium* y raíces de diversas especies de leguminosas (Weisany *et al.*, 2013). Esto cobra importancia en el ciclo de nutrientes, ya que generalmente una gran cantidad de N fijado regresa al suelo mediante la descomposición, después de que estas plantas mueren o cuando son incorporadas al suelo como abono verde (AV) (Giller, 2001). Por lo tanto, las leguminosas son un insumo alternativo e importante como fuente de materia orgánica y N, principalmente en sistemas de producción con enfoque agroecológico, ya que su empleo representa un ahorro económico, sin daños al ambiente y con efectos benéficos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Shindoi *et al.*, 2012). Bajo condiciones favorables de humedad y temperatura, el AV puede suministrar N inorgánico en forma de amonio (NH_4^+) y nitratos (NO_3^-) después de su descomposición y mineralización (Celaya-Michel y Castellanos-Villegas, 2011).

Introduction

The “Biological Nitrogen Fixation” (BNF) is the process responsible for the transformation of the largest volume of atmospheric N (N_2) to forms that can be used by some plant species. This occurs through the symbiosis between some bacteria of the genus *Rhizobium* or *Bradyrhizobium* and roots of various species of legumes (Weisany *et al.*, 2013). This becomes important in the nutrient cycle, since generally a large amount of fixed N returns to the soil through decomposition, after these plants die or when they are incorporated into the soil as green manure (AV) (Giller, 2001). Therefore, legumes are an alternative and important input as a source of organic matter and N, mainly in production systems with an agroecological approach, since their use represents an economic saving, without damage to the environment and with beneficial effects on physical properties, chemical and biological of the soil (Shindoi *et al.*, 2012). Under favorable humidity and temperature conditions, AV can supply inorganic N in the form of ammonium (NH_4^+) and nitrates (NO_3^-) after its decomposition and mineralization (Celaya-Michel and Castellanos-Villegas, 2011).

Some species of the genus *Lupinus* have been studied as AV in different

Algunas especies del género *Lupinus*, han sido estudiadas como AV en diferentes regiones del mundo en términos de producción de biomasa, fijación y contenido de N, así como aspectos relacionados con la velocidad de descomposición y mineralización de N (Zamora-Natera *et al.*, 2019; Perdigão *et al.*, 2017). En otros estudios se ha evaluado directamente el efecto de su incorporación sobre el rendimiento de los cultivos y las propiedades del suelo (Pietrzykowski *et al.*, 2017; Wysokinski *et al.*, 2014; Molina *et al.*, 2011). La mayoría de estos estudios están enfocados principalmente en especies cultivadas como *L. albus*, *L. luteus* y *L. angustifolius* originarias del área del mediterráneo y *L. mutabilis* de origen sudamericano, pero son escasos los estudios encaminados a conocer el potencial que las especies nativas de una determinada región pueden tener como AV. Aunque se estima que en México hay aproximadamente 110 especies silvestres del género *Lupinus* (Bermúdez *et al.*, 2000), se tienen pocos estudios dirigidos a conocer la importancia de estas como AV. Entre estos se encuentran la investigación realizada por Zapata-Hernández *et al.* (2020), Zamora-Natera *et al.* (2019) y Zapata *et al.* (2019), en las que se hace notar el potencial de algunas especies silvestres del género *Lupinus* para producir biomasa con alto contenido de N en condiciones de cultivo. Sin embargo, se considera que es necesario realizar nuevos estudios que nos permitan entender el comportamiento de estas especies después de su incorporación al suelo como AV, en términos de descomposición y mineralización de N. Por lo tanto, el

regions of the world in terms of biomass production, fixation and N content, as well as aspects related to the rate of decomposition and mineralization of N (Zamora-Natera *et al.*, 2019; Perdigão *et al.*, 2017). In other studies, the effect of its incorporation on crop yield and soil properties has been directly evaluated (Pietrzykowski *et al.*, 2017; Wysokinski *et al.*, 2014; Molina *et al.*, 2011). Most of these studies are focused mainly on cultivated species such as *L. albus*, *L. luteus* and *L. angustifolius* originating in the Mediterranean area and *L. mutabilis* of South American origin, but there are few studies aimed at knowing the potential that native species of a certain region can have as AV. Although it is estimated that in Mexico there are approximately 110 wild species of the genus *Lupinus* (Bermúdez *et al.*, 2000), there are few studies aimed at knowing the importance of these as AVs. Among these are the research carried out by Zapata-Hernández *et al.* (2020), Zamora-Natera *et al.* (2019) and Zapata *et al.* (2019), in which the potential of some wild species of the genus *Lupinus* to produce biomass with high N content under cultivation conditions is noted. However, it is considered necessary to carry out new studies that allow us to understand the behavior of these species after their incorporation into the soil as AV, in terms of decomposition and mineralization of N. Therefore, the objective of this research was to evaluate the potential of *L. exaltatus* in terms of decomposition and mineralization of N after its incorporation into the soil as AV, as

objetivo de esta investigación fue evaluar el potencial de *L. exaltatus* en términos de descomposición y mineralización de N después de su incorporación al suelo como AV, así como su efecto sobre el crecimiento inicial de plántulas de *Triticum aestivum*.

Materiales y métodos

Material vegetal

La especie evaluada (*L. exaltatus*) como AV se cultivó en el campo agrícola experimental del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara, localizado en Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jalisco, México. Las coordenadas geográficas son 20°43' N y 103°23' O, con una altitud de 1.600 m.s.n.m., la temperatura media anual es de 20,5 °C con temperaturas máximas y mínimas de 32,1 °C y 8,4 °C, respectivamente (Zapata *et al.*, 2019). La metodología agrícola utilizada fue la descrita por Zamora *et al.* (2019), la densidad de plantas fue de 120.000 plantas.ha⁻¹. De los surcos centrales se colectaron al azar 15 plantas en cada etapa fenológica (vegetativa a los 105 días después de la siembra y floración a los 122 días después de la siembra). Se lavaron con agua destilada, se cortaron en secciones menores a 1 cm y se colocaron en una estufa de aire forzado a 70 °C por 48 horas.

Análisis químico del material vegetal

Se tomó una muestra seca y molida para determinar su composición química inicial (cuadro 1), mientras que el resto se almacenó hasta iniciar el experimento en campo, así como

well as its effect on the initial growth of *Triticum aestivum* seedlings.

Materials and methods

Vegetal material

The species evaluated (*L. exaltatus*) as AV was cultivated in the experimental agricultural field of the Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) of the Universidad de Guadalajara, located in Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jalisco, Mexico. The geographical coordinates are 20°43'N and 103°23' W, with an altitude of 1,600 meters above sea level, the average annual temperature is 20.5 °C with maximum and minimum temperatures of 32.1 °C and 8.4 °C, respectively (Zapata *et al.*, 2019). The agricultural methodology used was that described by Zamora *et al.* (2019), the density of plants was 120,000 plants.ha⁻¹. From the central rows, 15 plants were randomly collected in each phenological stage (vegetative at 105 days after sowing and flowering at 122 days after sowing). They were washed with distilled water, cut into sections smaller than 1 cm and placed in a forced air oven at 70 °C for 48 hours.

Chemical analysis of plant material

A dry and ground sample was taken to determine its initial chemical composition (table 1), while the rest was stored until starting the field experiment, as well as for the experiment in pots. Lignin Klasón and cellulose were determined by methods D 1106-56 and D 1103-60, respectively

para el experimento en macetas. Se determinó Lignina Klasón y celulosa por los métodos D 1106-56 y D 1103-60, respectivamente (ASTM, 1977). La concentración de C y N se cuantificó por medio de combustión seca en un analizador elemental CHNS-O Leco TruSpec® (LECO, 2010).

(ASTM, 1977). The concentration of C and N was quantified by means of dry combustion in a CHNS-O Leco TruSpec® elemental analyzer (LECO, 2010).

Establishment of the experiment in the field. The decomposition bag method known as “litter-bags” was

Cuadro 1. Composición química de *Lupinus exaltatus* para evaluar su potencial como abono verde en Zapopan, Jalisco, México.

Table 1. Chemical composition of *Lupinus exaltatus* to evaluate its potential as green manure in Zapopan, Jalisco, Mexico

Etapas fenológicas	Días después de la siembra	Concentración inicial (%)				Relación	
		C	N	Lignina	Celulosa	C:N	Lignina:N
Vegetativa	105	42,4	3,0	19,85	37,69	17,3	6,48
Floración	120	41,9	2,5	23,53	39,07	19,0	9,08

Establecimiento del experimento en campo. Se utilizó el método de las bolsas de descomposición conocido como “litter-bags” (Saria *et al.*, 2018), el cual ha sido ampliamente utilizado para evaluar la descomposición y mineralización de hojarasca, residuos agrícolas y AV (Saria *et al.*, 2018; Shindoi *et al.*, 2012; Villavicencio-Enríquez, 2012). Para el caso de este estudio, se colocaron 5 g de AV (base seca) de *L. exaltatus* en etapa vegetativa y 5 g en etapa de floración por separado, en el interior de bolsas de nylon de 5 cm de ancho x 10 cm de largo y 1 mm de apertura de malla (AMKON® Technology). Se prepararon un total de 216 bolsas, las cuales se enterraron el 01/07/2018 a 5 cm de profundidad del suelo en las regiones agrícolas de Ixtlahuacán de Los Membrillos y en Zapopan del estado de Jalisco, con suelo Vertisol y Regosol, respectivamente, de

used (Saria *et al.*, 2018), which has been widely used to evaluate the decomposition and mineralization of litter, agricultural residues and AV (Saria *et al.*, 2018; Shindoi *et al.*, 2012; Villavicencio-Enríquez, 2012). For this study, 5 g of AV (dry base) of *L. exaltatus* in the vegetative stage and 5 g in the flowering stage were placed separately, inside nylon bags 5 cm wide x 10 cm thick. long and 1 mm mesh opening (AMKON® Technology). A total of 216 bags were prepared, which were buried on 07/01/2018 at a depth of 5 cm from the soil in the agricultural regions of Ixtlahuacán de Los Membrillos and in Zapopan of the state of Jalisco, with Vertisol and Regosol soil, respectively, according to the FAO classification (WRB, 2015). Table 2 shows the initial characteristics of the soils where the

acuerdo a la tipificación de la FAO (WRB, 2015). En el cuadro 2 se muestran las características iniciales de los suelos donde se llevó a cabo el experimento de incubación, las determinaciones se realizaron de acuerdo a la NOM 021 REC/NAT (2000).

incubation experiment was carried out, the determinations were made according to NOM 021 REC/NAT (2000).

A random blocks experimental design was used with a factorial arrangement of 2 x 2 x 6 three factors

Cuadro 2. Características físicas y químicas de los suelos tipificados Vertisol y Regosol, en las regiones agrícolas de Ixtlahuacán de Los Membrillos y Zapopan, Jalisco, México, para la evaluación en campo de *Lupinus exaltatus* como abono verde.

Table 2. Physical and chemical characteristics of the Vertisol and Regosol typified soils, in the agricultural regions of Ixtlahuacán de Los Membrillos and Zapopan, Jalisco, Mexico, for the field evaluation of *Lupinus exaltatus* as green manure.

Determinación	Zapopan (Regosol)	Ixtlahuacán (Vertisol)
Textura	Franco arenoso	Arcillo limoso
Arcilla	9,71	41,30
Limo	20,20	49,60
Arena	70,10	9,07
pH	5,90	6,37
Relación C:N	11,50	11,00
Materia Orgánica	1,55	2,10
N (%)	0,09	0,12
P mg.kg ⁻¹	23,80	17,30
K cmol.kg ⁻¹	0,82	0,71
Ca cmol.kg ⁻¹	5,00	12,60
Mg cmol.kg ⁻¹	0,42	3,84
Na cmol.kg ⁻¹	0,12	0,30

N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, Na: sodio. Fuente: Laboratorio de suelos, CUCBA, Universidad de Guadalajara.

N: nitrogen, P: phosphorus, K: potassium, Ca: calcium, Mg: magnesium, Na: sodium. Source: Soil Laboratory, CUCBA, University of Guadalajara

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial de 2 x 2 x 6 tres factores (suelo, etapa fenológica y periodo de incubación) con un total tres repeticiones por

(soil, phenological stage and incubation period) with a total of three repetitions per treatment. The average temperature and precipitation that occurred during the study time is shown in table 3.

tratamiento. La temperatura y la precipitación promedio que se presentó durante el tiempo del estudio se muestra en el cuadro 3.

Remaining material and N analysis. Once the bags with VA were incorporated into the soil and after three weeks, three bags were removed

Cuadro 3. Precipitación y temperatura promedio en las regiones agrícolas de Ixtlahuacán de Los Membrillos y Zapopan, Jalisco, México, para la evaluación en campo de *Lupinus exaltatus* como abono verde.

Table 3. Precipitation and average temperature in the agricultural regions of Ixtlahuacán de Los Membrillos and Zapopan, Jalisco, Mexico, for the field evaluation of *Lupinus exaltatus* as green manure.

Tiempo (Meses)	Ixtlahuacán		Zapopan	
	Precipitación (mm)	Temperatura (° C)	Precipitación (mm)	Temperatura (° C)
Julio	236	21,5	290	22,00
Agosto	245	21,0	206	21,52
Septiembre	149	20,3	158	21,04
Octubre	45	19,1	70	20,00

Fuente: SMN-CONAGUA (2018).

Source: SMN-CONAGUA (2018).

Material remanente y análisis de N. Una vez incorporadas las bolsas con AV al suelo y transcurridas tres semanas, se retiraron tres bolsas por tratamiento por cada suelo durante un periodo de 18 semanas. Las bolsas de AV se trasladaron al laboratorio de Biotecnología del Departamento de Botánica y Zoología (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara, donde se limpiaron de restos de suelo y pequeñas raíces. Se recuperó el material vegetal remanente, el cual posteriormente se colocó en el interior de una estufa de aire forzado a 70 °C durante 48 horas (Martínez *et al.*, 1989). Se estimó el peso seco del material vegetal remanente y se tomó una muestra para la determinación

per treatment for each soil during a period of 18 weeks. The AV bags were transferred to the Biotechnology Laboratory of the Departamento de Botánica y Zoología (CUCBA) of the Universidad de Guadalajara, where they were cleaned of soil debris and small roots. The remaining plant material was recovered, which was subsequently placed inside a forced air oven at 70 °C for 48 hours (Martínez *et al.*, 1989). The dry weight of the remaining plant material was estimated and a sample was taken for the determination of N by the Kjeldahl method (Bremner, 1996). To determine the decomposition and mineralization of N in the AV, the dry weight and remaining N were

de N mediante el método Kjeldahl (Bremner, 1996). Para determinar la descomposición y mineralización de N del AV se calculó, para todos los periodos de muestreo, el peso seco y N remanente expresado en porcentaje como lo muestra la siguiente fórmula:

$$(\%) \text{XR} = (X_t / X_0) \times 100$$

Donde (%) XR es el porcentaje de peso seco remanente o N remanente, X_t , es el peso seco o contenido de N en cada tiempo de muestreo y X_0 el peso inicial y N inicial del AV.

Establecimiento del experimento en macetas. El 20/11/2019 se estableció una evaluación a corto plazo (30 días) en macetas para evaluar el efecto de *L. exaltatus* como AV sobre el crecimiento de plántulas de trigo (*T. aestivum*), bajo condiciones de riego (cada tres días) y temperatura ambiente (20 °C promedio) en el área de viveros del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (Universidad de Guadalajara). Se utilizó el suelo Regosol recolectado de campos agrícolas sembrados con maíz (*Zea mays*), en la región de Nextipac Zapopan, Jalisco, cuyas propiedades físicas y químicas se muestran en el cuadro 2. La cantidad de AV aplicada fue de 50 y 34 g (equivalente a 15 y 10 t.ha⁻¹, respectivamente), también se utilizó urea para la fertilización química en una dosis de 1,6 g.maceta⁻¹ (equivalente a 200 kg N.ha⁻¹). Los tratamientos se conformaron de la siguiente manera: T1 = 50 g de AV incorporado al suelo en etapa vegetativa; T2 = 34 g de AV incorporado al suelo en etapa vegetativa; T3 = 50 g de AV incorporado al suelo en etapa de floración; T4 = 34 g de AV incorporado al suelo en etapa de floración; T5 = suelo

calculated for all sampling periods, expressed as a percentage as shown by the following formula:

$$(\%) \text{XR} = (X_t / X_0) \times 100$$

Where (%) XR is the percentage of dry weight remaining or N remaining, X_t , is the dry weight or N content at each sampling time and X_0 the initial weight and initial N of the VA.

Establishment of the experiment in pots. On 11/20/2019 a short-term evaluation (30 days) was established in pots to evaluate the effect of *L. exaltatus* as AV on the growth of wheat (*T. aestivum*) seedlings, under irrigation conditions (every three days) and ambient temperature (20 °C average) in the nursery area of the Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (Universidad de Guadalajara). Regosol soil collected from agricultural fields planted with corn (*Zea mays*) was used, in the Nextipac Zapopan region, Jalisco, whose physical and chemical properties are shown in table 2. The amount of AV applied was 50 and 34 g (equivalent to 15 and 10 t.ha⁻¹, respectively), urea was also used for chemical fertilization in a dose of 1.6 g.pot⁻¹ (equivalent to 200 kg N.ha⁻¹). The treatments were made as follows: T1 = 50 g of AV incorporated into the soil in the vegetative stage; T2 = 34 g of VA incorporated into the soil in the vegetative stage; T3 = 50 g of AV incorporated into the soil in the flowering stage; T4 = 34 g of VA incorporated into the soil in the flowering stage; T5 = soil with chemical fertilization (urea: 46-00-00) and T6 = soil without AV and without fertilizer (control). One week after the

con fertilización química (urea: 46-00-00) y T6 = suelo sin AV y sin fertilizante (control). Una semana después de la incorporación del AV (27/11/2019) se sembraron 20 semillas de trigo variedad Cortázar S94 en las macetas a las cuales previamente se les colocó 7,5 kg de suelo y se fertilizaron seis días después de la siembra. El diseño experimental consistió en un completamente al azar con tres repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron: rendimiento de la biomasa aérea, concentración de N (%) mediante el método Kjeldahl (Bremner, 1996) y rendimiento de N total en dicha biomasa.

Análisis estadístico. Las variables porcentaje de descomposición y N mineralizado del experimento en campo, así como rendimiento de biomasa, concentración de N (%) y N total en la biomasa de trigo cosechada en el experimento en macetas, fueron sometidos a un análisis de varianza y comparación de promedios mediante la prueba Tukey (0,05), se utilizó el programa estadístico Statgraphics Centurión XVII (Statgraphics, 2014).

Resultados y discusión

Evaluación de campo. El material vegetal recuperado o remanente disminuyó significativamente ($p < 0,05$) en ambos tipos de suelos conforme se incrementó el periodo de incubación independientemente de la etapa fenológica en la que se evaluó. La descomposición del material vegetativo en términos de un incremento en los porcentajes de pérdida de peso se muestra en la figura 1. Durante las primeras tres

incorporación de the VA (11/27/2019), 20 seeds of wheat variety Cortázar S94 were sown in the pots to which 7.5 kg of soil were previously placed and fertilized six days after sowing. The experimental design consisted of a completely randomized with three repetitions per treatment. The variables evaluated were: aerial biomass yield, N concentration (%) by the Kjeldahl method (Bremner, 1996) and total N yield in biomass.

Statistical analysis. The variables percentage of decomposition and mineralized N of the field experiment, as well as biomass yield, concentration of N (%) and total N in the wheat biomass harvested in the experiment in pots, were subjected to an analysis of variance and comparison of averages using the Tukey test (0.05), the statistical program Statgraphics Centurión XVII (Statgraphics, 2014) was used.

Results and discussion

Field evaluation. The recovered or remaining plant material decreased significantly ($p < 0.05$) in both types of soils as the incubation period increased regardless of the phenological stage in which it was evaluated. The decomposition of the vegetative material in terms of an increase in the percentages of weight loss is shown in figure 1. During the first three weeks the weight loss of the AV in the Vertisol soil was 63.4 % in the vegetative stage and 54.94 % in the flowering stage, while in Regosol soil these values were 67.6 and 58.4 %, respectively. At the end of the

semanas la pérdida de peso del AV en el suelo Vertisol fue del 63,4 % en etapa vegetativa y de 54,94 % en la etapa de floración, mientras que en el suelo Regosol estos valores fueron del 67,6 y 58,4 %, respectivamente. Al finalizar los muestreos las pérdidas de peso del AV en el suelo Regosol variaron de 78,93 % en la etapa de floración hasta 84,02 % en la etapa vegetativa. Un comportamiento similar, pero con valores diferentes de pérdida de peso se registraron en el suelo Vertisol de 73,89 % en etapa de floración hasta 82,27 % en etapa vegetativa. En el suelo Vertisol se observó que la pérdida de peso en etapa vegetativa fue significativamente mayor que en etapa de floración. En el suelo Regosol este comportamiento no se pudo mantener hasta el final del experimento, porque después del cuarto muestreo no hubo diferencias significativas, aunque los porcentajes de pérdida de peso fueron ligeramente superiores en etapa vegetativa que en etapa de floración.

La rápida descomposición del AV en términos de pérdida de biomasa en las primeras semanas de incubación, así como una pérdida de peso lenta y gradual hasta el final del periodo de incubación es consistente con lo reportado por Thönnissen *et al.* (2000), los cuales mencionan pérdidas de peso del 30 al 70 % en *Glycyne max* e *Indigofera tinctoria* después de cinco semanas de incubación. En Brasil las especies *Arachis pintoi*, *Calopogonium muconoides*, *Stizilobium aterrimum* y *Stylosantes guianensis* fueron evaluadas como AV en plantaciones de café y se reportaron valores de pérdida

de samplings, the AV weight losses in the Regosol soil varied from 78.93 % in the flowering stage to 84.02 % in the vegetative stage. Similar behavior, but with different weight loss values, was recorded in Vertisol soil from 73.89 % in the flowering stage to 82.27 % in the vegetative stage. In the Vertisol soil, it was observed that the weight loss in the vegetative stage was significantly greater than in the flowering stage. In Regosol soil, this behavior could not be maintained until the end of the experiment, because after the fourth sampling there were no significant differences, although the percentages of weight loss were slightly higher in the vegetative stage than in the flowering stage.

The rapid decomposition of VA in terms of biomass loss in the first weeks of incubation, as well as a slow and gradual weight loss until the end of the incubation period is consistent with that reported by Thönnissen *et al.* (2000), who mention weight losses of 30 to 70 % in *Glycyne max* and *Indigofera tinctoria* after five weeks of incubation. In Brazil, the species *Arachis pintoi*, *Calopogonium muconoides*, *Stizilobium térimum* and *Stylosdamientos guianensis* were evaluated as VA in coffee plantations and biomass loss values of 30 to 60 % were reported in the first 30 days (Matos *et al.*, 2011). In Korea, the incorporation of *Vicia villosa* in soils dedicated to rice cultivation showed biomass loss values of 72-81 % at 30 days of incubation (Lee *et al.*, 2002).

The mineralization in terms of the percentage of N released from the VA during the incubation period showed,

de biomasa del 30 al 60 % en los primeros 30 días (Matos *et al.*, 2011). En Corea, la incorporación de *Vicia villosa* en suelos dedicados al cultivo de arroz mostró valores de pérdida de biomasa de 72-81 % a los 30 días de incubación (Lee *et al.*, 2002).

in both soils, a similar trend to the decomposition process, with a rapid release of N in the first three weeks of exposure to the soil (figure 2). Although a general trend was observed to continue releasing N throughout the incubation period, between weeks

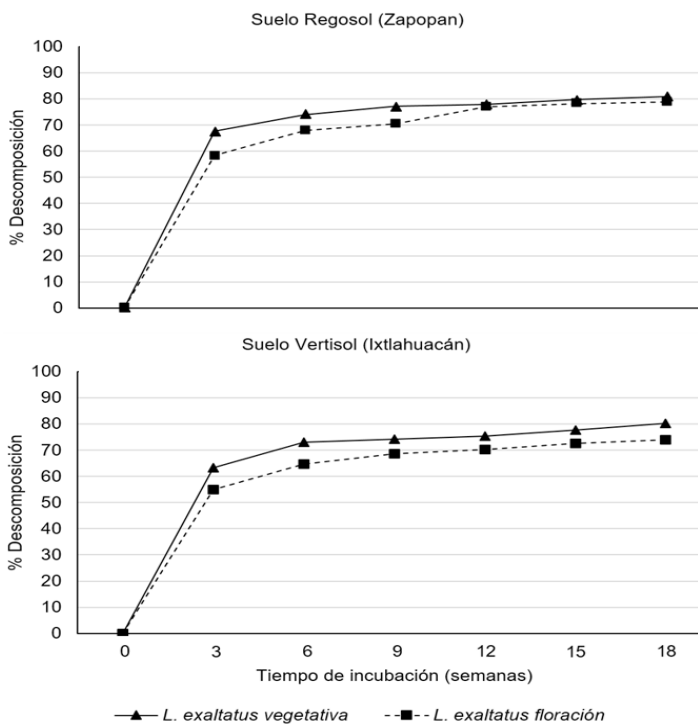


Figura 1. Dinámica de descomposición de *Lupinus exaltatus* utilizado como abono verde, en las regiones agrícolas de Ixtlahuacán de Los Membrillos y Zapopan, Jalisco, México.

Figure 1. Decomposition dynamics of *Lupinus exaltatus* used as green manure, in the agricultural regions of Ixtlahuacán de Los Membrillos and Zapopan, Jalisco, Mexico.

La mineralización en términos de porcentaje de N liberado del AV durante el periodo de incubación mostró, en ambos suelos, una tendencia similar al proceso de descomposición, con una rápida liberación de N en las primeras tres semanas de exposición al suelo (figura 2). Aunque se observó una tendencia general a continuar liberando N a lo largo del periodo de incubación, entre las semanas 6 y 12 se presentó un evento temporal de inmovilización de N, seguido posteriormente de un proceso lento de mineralización. En ambos suelos y en prácticamente todos los muestreos se hizo notar que el mayor porcentaje de N liberado del AV incorporado en la etapa más joven (vegetativa) es significativamente mayor al incorporado en la etapa de mayor edad (floración).

Como resultado de la rápida liberación de N en las primeras tres semanas de incubación en el suelo Vertisol, el porcentaje de mineralización fue de 61,02 % en etapa vegetativa y de 40,98 % en etapa de floración, mientras que en el suelo Regosol la liberación de N fue de 62,61 % en etapa vegetativa y de 44,59 % en etapa de floración. Por otro lado, e independientemente de la etapa fenológica en la que fue incorporado el AV los porcentajes promedio de N liberado durante seis muestreos (18 semanas) fueron estadísticamente más altos en el suelo Regosol que en el suelo Vertisol con 74,02 % y 70,58 %, respectivamente (figura 2).

6 and 12 a temporary event of N immobilization occurred, followed later by a slow mineralization process. In both soils and in practically all the samplings, it was noted that the highest percentage of N released from the AV incorporated in the youngest stage (vegetative) is significantly higher than that incorporated in the oldest stage (flowering).

As a result of the rapid release of N in the first three weeks of incubation in the Vertisol soil, the mineralization percentage was 61.02 % in the vegetative stage and 40.98 % in the flowering stage, while in the Regosol soil the release of N was 62.61 % in the vegetative stage and 44.59 % in the flowering stage. On the other hand, and regardless of the phenological stage in which the VA was incorporated, the average percentages of N released during six samplings (18 weeks) were statistically higher in the Regosol soil than in the Vertisol soil with 74.02 % and 70, 58 %, respectively (figure 2).

The high percentages of N released during the first weeks after having incorporated the VA, coincide with the results obtained by Cobo *et al.* (2002), who reported N release values of 40 to 60 % in different legumes in an incubation period of two weeks. In another study Cobo *et al.* (2008), obtained N release percentages of 72 % in *Indigofera constricta* and 63 % in *Mucuna pruriens* at four weeks of incubation. Another investigation of Matos *et al.* (2011), in four weeks of evaluation in Brazil, reported values of 67 to 78 % in *Arachis pintoi*, *Calopogonium muconoides*, *Stylosanthes guianensis* and *Stizolobium aterrimum*.

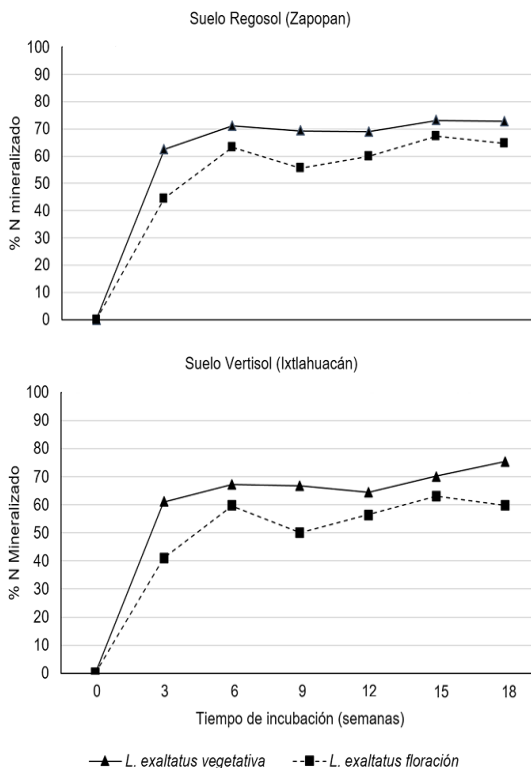


Figura 2. Porcentaje de N mineralizado de *Lupinus exaltatus* utilizado como abono verde en las regiones agrícolas de Ixtlahuacán de Los Membrillos y Zapopan, Jalisco, México.

Figure 2. Percentage of mineralized N from *Lupinus exaltatus* used as green manure in the agricultural regions of Ixtlahuacán de Los Membrillos and Zapopan, Jalisco, Mexico.

Los altos porcentajes de N liberado durante las primeras semanas de haber incorporado el AV, coincide con los resultados obtenidos por Cobo *et al.* (2002), quienes reportaron valores de liberación de N del 40 al 60 % en diferentes leguminosas en un periodo

In this study, the rapid decomposition and mineralization of N in the VA may be associated with two factors; the first is probably related to time in which the experiment was established, since the incubation period of the VA in the soil

de incubación de dos semanas. En otro estudio Cobo *et al.* (2008), obtuvieron porcentajes de liberación de N de 72 % en *Indigofera constricta* y 63 % en *Mucuna pruriens* a cuatro semanas de incubación. Por su parte Matos *et al.* (2011), en cuatro semanas de evaluación en Brasil reportaron valores del 67 al 78 % en *Arachis pintoi*, *Calopogonium muconoides*, *Stylosanthes guianensis* y *Stizolobium aterrimum*.

En el presente estudio, la rápida descomposición y mineralización de N en el AV puede estar asociado a dos factores; el primero tiene relación probablemente con el tiempo en el que se estableció el experimento, ya que el periodo de incubación del AV en el suelo coincidió con la época de mayor precipitación en el estado de Jalisco (cuadro 3). Lo anterior permitió mantener niveles óptimos de humedad en el suelo para favorecer la actividad de los microorganismos descomponedores (bacterias y hongos) y la rápida liberación de compuestos hidrosolubles como algunos compuestos nitrogenados y carbohidratos no estructurales (Nevins *et al.*, 2018; Zapata-Hernández *et al.*, 2020). Al respecto se ha reportado que las condiciones edafoclimáticas como temperatura y humedad son buenos predictores de la descomposición y mineralización de N (Shindo *et al.*, 2012). Por otro lado, es posible que la composición química inicial del AV, independientemente de la etapa fenológica, fue otro factor que favoreció la rápida descomposición y mineralización de N, generalmente materiales con baja relación C:N y bajo contenido de lignina (típico de muchas leguminosas) tienden

coincided with the time of greatest rainfall in the state of Jalisco (Table 3). This made it possible to maintain optimal levels of humidity in the soil to favor the activity of decomposing microorganisms (bacteria and fungi) and the rapid release of water-soluble compounds such as some nitrogenous compounds and non-structural carbohydrates (Nevins *et al.*, 2018; Zapata-Hernández *et al.*, 2020). In this regard, it has been reported that edaphoclimatic conditions such as temperature and humidity are good predictors of the decomposition and mineralization of N (Shindo *et al.*, 2012). On the other hand, it is possible that the initial chemical composition of the VA, regardless of the phenological stage, was another factor that favored the rapid decomposition and mineralization of N, generally materials with a low C:N ratio and low lignin content (typical of many legumes) tend to decompose and mineralize faster than some organic substrates with high levels (Brunetto *et al.*, 2011), therefore, high N contents in the C:N ratio and lignin limit the growth of decomposing microorganisms, for which is common the presence of recalcitrant compounds whose molecules present bonds more resistant to the degradation of organic materials (Brunetto *et al.*, 2011; Odhiambo, 2010). In this regard, Thönnissen *et al.* (2000) mentioned that the weight loss pattern is consistent with previous assumptions that residues contain labile and recalcitrant fractions, which have different degrees of resistance to degradation microbial action. In this

a descomponerse y mineralizarse más rápido que algunos sustratos orgánicos con niveles altos (Brunetto *et al.*, 2011), por lo tanto, altos contenidos de N en la relación C:N y lignina limitan el crecimiento de los microorganismos descomponedores, por lo cual es común la presencia de compuestos recalcitrantes cuyas moléculas presentan enlaces más resistentes a la degradación de los materiales orgánicos (Brunetto *et al.*, 2011; Odhiambo, 2010). Al respecto, Thönnissen *et al.* (2000) mencionaron que el patrón de pérdida de peso concuerda con las suposiciones previas de que los residuos contienen fracciones lábiles y recalcitrantes, los cuales tienen diferentes grados de resistencia a la degradación microbiana. En este sentido la rápida descomposición del AV de los 0 a los 18 días puede ser explicado en función a lo reportado por Cotrufo *et al.* (2013), quienes señalaron que los microorganismos descomponedores actúan rápidamente sobre los azúcares de fácil degradación, no así en otros componentes como la celulosa, la lignina y los polifenoles. Aunque son pocos los estudios encaminados a evaluar la descomposición y mineralización de AV a diferentes edades o etapas fenológicas, según los resultados del presente estudio se considera que la tendencia a encontrar mayores pérdidas de biomasa en el AV incorporado en la etapa de menor desarrollo (vegetativa) en comparación con la etapa de mayor desarrollo (floración) puede ser explicada en términos de diferencias en la composición química, calidad y cantidad del AV (Shahbaz *et al.*, 2017).

Por otro lado, se ha reportado que valores altos de lignina pueden

sense, the rapid decomposition of VA from 0 to 18 days can be explained based on what was reported by Cotrufo *et al.* (2013), who pointed out that decomposing microorganisms act quickly on easily degradable sugars, not on other components such as cellulose, lignin and polyphenols. Although there are few studies aimed at evaluating the decomposition and mineralization of VA at different ages or phenological stages, according to the results of the present study, it is considered that the tendency to find greater biomass losses in the VA incorporated in the lower development stage (vegetative) compared to the stage of greatest development (flowering) can be explained in terms of differences in the chemical composition, quality and quantity of the VA (Shahbaz *et al.*, 2017).

On the other hand, it has been reported that high lignin values can prevent decomposition because this compound functions as a physical barrier that protects cellulose and other components of the cell wall from attack by microorganisms (Cotrufo *et al.*, 2013). It has also been documented that certain soil properties (texture, pH, organic matter, microbial activity, salinity, humidity and nutrient availability) have a high relationship with the decomposition and mineralization of N (Monsalve *et al.*, 2017). Although in this study at the end of the experiment the percentages of biomass loss and N released showed little differences in both soils, in the first stages of evaluation the Regosol soil registered a higher percentage of biomass loss and N mineralization

impedir la descomposición debido a que este compuesto funciona como una barrera física que protege a la celulosa y a otros componentes de la pared celular del ataque de los microorganismos (Cotrufó *et al.*, 2013). También se ha documentado que ciertas propiedades del suelo (textura, pH, materia orgánica, actividad microbiana, salinidad, humedad y disponibilidad de nutrientes) tienen una alta relación con la descomposición y mineralización de N (Monsalve *et al.*, 2017). Aunque en este estudio al final del experimento los porcentajes de pérdida de biomasa y N liberado mostraron escasas diferencias en ambos suelos, en las primeras etapas de evaluación el suelo Regosol registró un mayor porcentaje de pérdida de biomasa y mineralización de N en comparación al suelo Vertisol (figura 1 y 2). Lo anterior puede estar relacionado principalmente a la diferencia de textura que existe entre los dos suelos, presentando el suelo Vertisol porcentajes más altos de arcilla y limo en comparación con el suelo Regosol (cuadro 2). Esto tiene sentido con lo reportado por Castellano *et al.* (2012), donde mencionan que la mineralización es más baja en suelos con texturas finas debido a la capacidad que presentan las arcillas de proteger la materia orgánica contra la descomposición.

Evaluación en macetas. El análisis de varianza de las variables evaluadas en las plántulas de trigo mostró diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). El cuadro 4 muestra la comparación de promedios entre tratamientos para cada variable

compared to Vertisol soil (figures 1 and 2). This may be mainly related to the difference in texture that exists between the two soils, with the Vertisol soil presenting higher percentages of clay and silt compared to the Regosol soil (table 2). This makes sense with what is reported by Castellano *et al.* (2012), where they mention that mineralization is lower in soils with fine textures due to the ability of clays to protect organic matter against decomposition.

Evaluation in pots. The analysis of variance of the variables evaluated in the wheat seedlings showed significant differences between treatments ($p < 0.05$). Table 4 shows the comparison of means between treatments for each variable under study. The total harvested wheat biomass ranged from 4.82 g.pot⁻¹ in T6 (control) to 8.26 g.pot⁻¹ in T1 (50 g of VA in vegetative stage). The highest percentage of N was found in the wheat biomass that received chemical fertilization (3.98 %), while the biomass harvested in T6 (control) was the one that showed the lowest concentration of N (1.89 %). Regarding the aforementioned, Morales *et al.* (2019), comment that urea as a fertilizer has the advantage of providing a high content of N (46 %) which can be used quickly, but also presents volatilization losses in the form of ammonia gas and leaching.

The higher biomass production and N content in wheat seedlings harvested from T1 (50 g of AV in vegetative stage) compared to treatments T2, T3, T4 and T6 can be explained in terms of a rapid release and availability of N for wheat

en estudio. La biomasa total de trigo cosechada varió de 4,82 g.maceta⁻¹ en el T6 (control) hasta 8,26 g.maceta⁻¹ en el T1 (50 g de AV en etapa vegetativa). El mayor porcentaje de N se encontró en la biomasa de trigo que recibió fertilización química (3,98 %), mientras que la biomasa cosechada en el T6 (control) fue la que mostró la menor concentración de N (1,89 %). Con respecto a lo antes mencionado, Morales *et al.* (2019), comentan que la urea como fertilizante presenta la ventaja de proporcionar un alto contenido de N (46 %) el cual puede ser utilizado de forma rápida, pero también presenta pérdidas por volatilización en forma de gas amoníaco y lixiviación.

seedlings, in addition to the quality and quantity of the VA (Shahbaz *et al.*, 2017), which is related to the decomposition and mineralization results of N obtained in the field experiment.

In other *Lupinus* species used as VA, the effects of the rapid release and availability of N for other plant species of agricultural importance have also been documented (Tighe-Neira *et al.*, 2015). However, it is considered necessary to carry out another long-term study in order to know if the amount of N released from the VA of *L. exaltatus* is sufficient to cover the internal demand for N in wheat plants during their growth and grain production.

Cuadro 4. Efecto del abono verde de *Lupinus exaltatus* sobre el crecimiento inicial de plántulas de trigo.

Cuadro 4. Efecto del abono verde de *Lupinus exaltatus* sobre el crecimiento inicial de plántulas de trigo.

Tratamientos	Biomasa total (g.maceta ⁻¹)	N (%)	N total en biomasa (mg.maceta ⁻¹)
1=50 g de AV en etapa vegetativa	8,26 a	2,63 b	217,23 a
2=34 g de AV en etapa vegetativa	7,25 b	2,33 b	168,92 b
3=50 g de AV en etapa de floración	6,01 c	2,37 b	142,42 c
4=34 g de AV en etapa de floración	5,49 c	2,13 c	116,90 c
5= 1,6 g (urea) fertilizante químico	5,62 c	3,98 a	223,62 a
6= Suelo sin abono y sin fertilizante	4,82 d	1,89 c	91,09 d

Promedios con la misma letra en las columnas no presentan diferencias significativas ($p>0,05$). AV: abono verde.

Averages with the same letter in the columns do not present significant differences ($p>0,05$). AV: green manure.

La mayor producción de biomasa y contenido de N en las plántulas de trigo cosechadas del T1 (50 g de AV en etapa vegetativa) en comparación a los

Conclusions

L. exaltatus showed potential as AV with a rapid decomposition and

tratamientos T2, T3, T4 y T6 puede ser explicado en términos de una rápida liberación y disponibilidad de N para las plántulas de trigo, además de la calidad y cantidad del AV (Shahbaz *et al.*, 2017), lo cual tiene relación con los resultados de descomposición y mineralización de N obtenidos en el experimento de campo.

En otras especies de *Lupinus* utilizadas como AV, también se han documentado los efectos de la rápida liberación y disponibilidad de N para otras especies vegetales de importancia agrícola (Tighe-Neira *et al.*, 2015). Sin embargo, se considera necesario realizar otro estudio a largo plazo con el propósito de conocer si la cantidad de N liberado del AV de *L. exaltatus* es suficiente para cubrir la demanda interna de N en las plantas de trigo durante su crecimiento y producción de grano.

Conclusiones

L. exaltatus mostró potencial como AV con una rápida descomposición y mineralización de N, donde influyeron factores como la composición química, la etapa fenológica y el tipo de suelo. En las primeras etapas de incubación se observó una tendencia a encontrar mayor descomposición y liberación de N en el AV incorporado en la etapa vegetativa que en la etapa de floración. Así mismo, la descomposición y mineralización tienden a ser más lentas en el suelo Vertisol que en el Regosol.

El N liberado del AV mostró un efecto favorable sobre el crecimiento inicial de las plántulas de trigo, sin embargo, la urea por su rápida absorción, fue la que mayor eficacia presentó en porcentaje de N y contenido de N en biomasa.

mineralization of N, where factors such as chemical composition, phenological stage and soil type influenced. In the first stages of incubation, a tendency was observed to find greater decomposition and release of N in the AV incorporated in the vegetative stage than in the flowering stage. Likewise, decomposition and mineralization tend to be slower in Vertisol soil than in Regosol.

The N released from the AV showed a favorable effect on the initial growth of wheat seedlings, however, urea, due to its rapid absorption, was the one that presented the highest efficiency in percentage of N and content of N in biomass.

End of English Version

Literatura citada

- American Society for Testing and Materials (ASTM). 1977. Annual book of ASTM standards. Part 22: wood; adhesives. West Conshohocken, PA, USA. p. 343-345.
- Base referencial mundial del recurso suelo (WRB) IUSS Working Group. 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos. No. 106. Tercera Edición. FAO. Viale delle Terme di Caracalla, Roma, Italia. 218 p. Disponible en: <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Libre59.pdf>
- Bermúdez, T. K., Q. N. Robledo, H. J. Martínez, T. Andreas and M. Wink. 2000. Biodiversity of the genus *Lupinus* in Mexico. In: Van Santen, E., M. Wink, S. Weissmann y P. Römer (eds). Proceedings 9th International Lupin Conference. International Lupin Association. Klink/Müriz, Germany. p. 294-296.

- Bremner, J. M. 1996. Nitrogen-total. In: Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. (Ed. Sparks DL), p. 1085-1121. SSSA Book Series 5. Soil Science Society of America, Madison, WI. EEUU.
- Brunetto, G., M. Ventura, F. Scandellari, C. A. Ceretta, J. Kaminski, G. W. de Melo and M. Tagliavini. 2011. Nutrient release during the decomposition of mowed perennial ryegrass and white clover and its contribution to nitrogen nutrition of grapevine. *Nutr. Cycling. Agroecosyst.* 90(3):299-308.
- Castellano, M. J., J. P. Kaye, H. Lin and J. P. Schmidt. 2012. Linking carbon saturation concepts to nitrogen saturation and retention. *Ecosyst.* 15(2):175-187.
- Celaya-Michel, H. y A. Castellanos-Villegas. 2011. Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoam.* 29:343-356.
- Cobo, J., E. Barrios and R. Delve. 2008. Decomposition and nutrient release from intra-specific mixtures of legume plant materials. *Comm. Soil. Sci. Plant. Anal.* 39 (3-4):616-625.
- Cobo, J., E. Barrios, D. C. Kass and R. Thomas. 2002. Nitrogen mineralization and crop uptake from surface-applied leaves of green manure species on a tropical volcanic-ash soil. *Biol. Fertil. Soils.* 36(2):87-92.
- Cotrufo, M. F., M. D. Wallenstein, C. M. Boot, K. Denef and E. Paul. 2013. The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form stable soil organic matter?. *Glob Chang Biol.* 19(4):988-995.
- Giller, K. E. 2001. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. Second edition. CABI Publishing. Wallingford, UK. 448 p.
- LECO. 2010. Organic application notes. Available in: http://www.leco.co.za/wpcontent/uploads/2012/02/CHN2000_PLANT_TISSUE_203-821160.pdf
- Lee, J. S., H. J. Lee and J. H. Seo. 2002. Decomposition and N release of hairy vetch applied as a green manure and its effects on rice yield in paddy field. *Korean J. Crop. Sci.* 47(2):137-141.
- Martínez, J., F. Ojeda, I. Yepes y I. Jácome, 1989. Formas de secado en la determinación de la materia seca en el *Pennisetum purpureum* cv. Taiwan A-144. *Past. y Forr.* 12(1):59-64.
- Matos, E. D. S., E. D. S. Mendonça, I. M. Cardoso, P. C. D. Lima and D. Freese. 2011. Decomposition and nutrient release of leguminous plants in coffee agroforestry systems. *Rev. Bras. Cienc. Solo.* 35(1):141-149.
- Molina, Y., A. Mora, M. Ramos y L. Parra. 2011. Evaluación de dos especies leguminosas como abono verde. Cuenca alta del Río Chama, Mérida, Venezuela. *Rev. Forest. Venez.* 55(2):183-193.
- Monsalve, C. O. I., D. J. S. Gutiérrez y W. A. Cardona. 2017. Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Una revisión. *Rev. Colomb. Cienc. Hortic.* 11(1):200-209.
- Morales, E. J. M., M. R. Arriaga, J. A. L. Sandoval, A. R. M. Campos y E. J. M. Rosales. 2019. Urea (NBPT) una alternativa en la fertilización nitrogenada de cultivos anuales. *Rev. Mexicana Cienc. Agric.* 10(8):1875-1886.
- Nevins, C. J., C. Nakatsu and S. Armstrong. 2018. Characterization of microbial community response to cover crop residues. *Soil. Biol. Biochem.* 123:39-49.
- NOM-021-REC/NAT-2000 (Norma Oficial Mexicana). 2002. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. SEMARNAT. México, D. F. 85 p.
- Odhiambo, J. J. 2010. Decomposition and nitrogen release by green manure legume residues in different soil types. *Afr. J. Agric. Res.* 5(1):90-96.
- Perdigão, A., J. Pereira, N. Moreira, H. Trindade and J. Coutinho. 2017.

- Carbon and nitrogen mineralisation from green manures as alternative nitrogen sources in Mediterranean farming. Arch. Agron. Soil. Sci. 63(11):1546-1555.
- Pietrzykowski, M., P. Gruba and G. Sproull. 2017. The effectiveness of Yellow lupine (*Lupinus luteus* L.) green manure cropping in sand mine cast reclamation. Ecol. Eng. 102:72-79.
- Saria, A. G., K. P. Sibuga, E. Semu and H. Høgh-Jensen. 2018. Soil Fertility Dynamics of Ultisol as Influenced by Greengram and Mucuna Green Manures. J. Plant. Sci. Agri. Res. 2:1-14.
- Shahbaz, M., Y. Kuzyakov, M. Sanaullah, F. Heitkamp, V. Zelenev, A. Kumar and E. Blagodatskaya. 2017. Microbial decomposition of soil organic matter is mediated by quality and quantity of crop residues: mechanisms and thresholds. Biol. Fertil. Soils. 53(3):287-301.
- Shindoi, M. M. J., J. Prause y P. L. Jover. 2012. Descomposición de *Vigna unguiculata* (caupi) en un Argiudol típico de Colonia Benítez, Chaco. RIA. 38(1):86-90.
- Servicio Meteorológico Nacional-Comisión Nacional del Agua (SMN-CONAGUA). 2018. <https://smn.conagua.gob.mx/es/> Consultado el 15 de noviembre de 2018.
- Statgraphics, C. 2014. Statgraphics Centurion XVII. User Manual. Version, 17 (8.0). Herndon, USA.
- Thönnissen, C., D. J. Midmore, J. K. Ladha, D. C. Olk and U. Schmidhalter. 2000. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. Agron. J. 92(2):253-260.
- Tighe-Neira, M. R., G. Leonelli, M. Aliaga y M. Rodríguez. 2015. Evaluación de espinillo como abono verde en la producción de biomasa y proteína de acelga. IDESIA. 33(2):137-142.
- Villavicencio-Enríquez, L. 2012. Producción, pérdida de peso y tasas de descomposición de hojarasca en cafetales tradicional y rústico, y selva mediana, en Veracruz, México. Rev. Chapingo Ser. Cienc. for. Ambient. 18(2):159-173.
- Weisany, W., Y. Raei and K. H. Allahverdiipoor. 2013. Role of Some of Mineral Nutrients in Biological Nitrogen Fixation. Bull. Env. Pharmacol. Life Sci. 2(4):77-84.
- Wysokinski, A., D. Kalembasa and S. Kalembasa. 2014. Utilization of nitrogen from different sources by spring triticale (*Triticosecale Wittm. ex A. Camus*) grown in the stand after yellow lupine (*Lupinus luteus* L.). Acta Sci. Pol. Agricultura. 13(2):79-92.
- Zamora-Natera, J., I. Zapata-Hernández y A. Villalvazo-Hernández. 2019. Fijación biológica del nitrógeno en tres especies silvestres del género *Lupinus* (Leguminosae, Papilionoideae) en México. Act. Bot. Mex. 126:e1543.
- Zapata-Hernández, I., J. Zamora-Natera, M. Trujillo-Tapia y E. Ramírez-Fuentes. 2020. ¿La incorporación de residuos de diferentes especies de *Lupinus*, como abono verde, afecta la actividad microbiana del suelo?. Terra Latinoam. 38(1):45-56.
- Zapata, I., M. R. Rodríguez, L. P. M. García, P. E. Salcedo, R. A. H. Lara and N. J. F. Zamora. 2019. Dry matter yield and nitrogen content in *Lupinus* spp. (Leguminosae) with potential as a green manure. Legum. Res. 42(4):523-527.