

2006-B 2011-A

302430436

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS



“DINÁMICA DE NITRÓGENO EN CUATRO ESPECIES
DE *Lupinus* CULTIVADAS EN SUELO LUVISOL
Y REGOSOL”.

TESIS PROFESIONAL

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA**

PRESENTA:

ISIDRO ZAPATA HERNÁNDEZ

**DIRECTOR: DR. EDUARDO SALCEDO PÉREZ
ASESOR: DR. JUAN FRANCISCO ZAMORA NATERA
ASESOR: ING. RAÚL VEGA ELVIRA**

Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jal., Julio de 2012



Universidad de Guadalajara
Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Coordinación de Carrera de la Licenciatura en Biología

COORD-BIO-216/2011

C. ISIDRO ZAPATA HERNANDEZ
PRESENTE

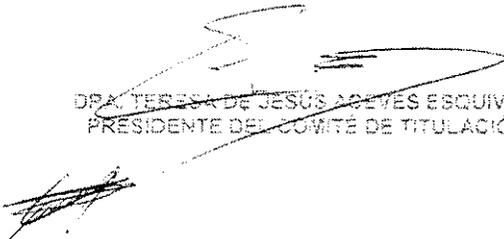
Manifiestamos a usted, que con esta fecha, ha sido aprobado su tema de titulación en la modalidad de TESIS E INFORMES opción TESIS con el título: "DINÁMICA DE NITROGENO EN CUATRO ESPECIES DE *Lupinus* CULTIVADAS EN SUELO LUV.SOL Y REGOSOL", para obtener la Licenciatura en Biología.

Al mismo tiempo le informamos, que ha sido aceptado como director de dicho trabajo al Dr. Eduardo Salcedo Pérez, y como asesores al Dr. Juan Francisco Zamora Natera y al Ing. Raul Vega Elvira.

Si mas por el momento, aprovecho para saludarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"PIENSA Y TRABAJA"

Las Aguas, Naxtliac, Zacoapan, Jalisco, 07 de noviembre de 2011


DRA. TERESA DE JESÚS ABOVES ESQUIVIAS
PRESIDENTE DEL COMITÉ DE TITULACIÓN


M.C. GLORIA PARADA BARRERA
SECRETARIO DEL COMITÉ DE TITULACIÓN

Dra. Teresa de Jesús Aceves Esquivias.
Presidente del Comité de Titulación.
Licenciatura en Biología.
CUCBA.

Presente

Nos permitimos informar a usted que habiendo revisado el trabajo de titulación, modalidad tesis e informes, opción tesis con el título: "Dinámica de Nitrógeno en cuatro especies de *Lupinus* cultivadas en suelo Luvisol y Regosol" que realizó el pasante Isidro Zapata Hernández con número de código 302430436 consideramos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorizar su impresión.

Sin otro particular quedamos de usted con un cordial saludo.

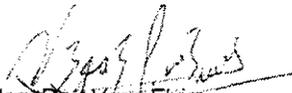
Atentamente
"PIENSA Y TRABAJA"
 Las Agujas, Zapopan Jalisco, 07 de junio de 2012.



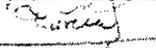
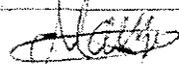
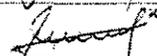
Dr. Eduardo Salcedo Pérez
 Director del trabajo



Dr. Juan Francisco Zamora Natera
 Asesor



Ing. Raúl Vega Elvira
 Asesor

Nombre completo de los Sinodales asignados por el Comité de Titulación	Firma de aprobación	Fecha de aprobación
Dr. Ramón Rodríguez Macías		07-06-2012
Dr. Pedro Macedonio García López		11-06-2012
Dr. Mario Alberto Ruiz López		11/06/2012
Supl. M.C. J. Jesús Ruiz Moreno		07/06/12

10

 25/06/2012

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Eduardo Salcedo Pérez, por el gran apoyo, confianza, tiempo y dedicación que me ha brindado en mi formación profesional y personal.

A mis asesores Dr. Juan Francisco Zamora Natera e Ing. Raúl Vega Elvira, por el apoyo brindado para la realización de esta tesis.

A los sinodales Dr. Ramón Rodríguez Macías, Dr. Mario Alberto Ruiz López, Dr. Pedro Macedonio García López y M.C. J. Jesús Ruiz Moreno por su ayuda y comentarios en la revisión de este trabajo.

A mi tío J. Trinidad Zapata Ortiz por su asistencia brindada durante la formación de mi carrera.

Para mis compañeros y amigos de laboratorio Irma, David y Nancy, gracias por su gran ayuda y amistad.

DEDICATORIAS

Primeramente a Dios por darme la fortaleza de seguir adelante en esta etapa de mi vida.

A mis queridos padres: Isidro Zapata Ortiz y Leonarda Hernández Valtierra por ser parte indispensable en mi vida, por su gran amor, apoyo y esfuerzo incondicional que me han brindado al estar conmigo en las buenas y en las malas.

A mis hermanos: Eric, Reve y Cuquis, que siempre han estado conmigo apoyándome en todo.

Para mi mejor amiga, María Elena, que estimo y quiero muchísimo por ser parte fundamental en mi vida, por su gran carisma, entusiasmo y ganas de seguir adelante.

INDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS	III
INDICE DE FIGURAS	IV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. El género <i>Lupinus</i> en México y en el mundo.....	3
2.2. Requerimientos del género <i>Lupinus</i>	4
2.3. Importancia agronómica.....	5
2.4. Importancia ecológica	6
2.5. El Nitrógeno (N) en la agricultura y su relación con las fabáceas .	7
2.6. Importancia de los lupinos en la dinámica de N	9
3. JUSTIFICACIÓN.....	11
4. OBJETIVO GENERAL.....	12
4.1 Objetivos específicos	12
5. HIPÓTESIS	12
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
6.1. Área de estudio	13
6.2. Material físico y biológico	13
6.3. Establecimiento y seguimiento del experimento	16
6.3.1. Siembra en charola.....	16
6.3.2. Trasplante	16
6.3.3. Seguimiento del cultivo y aplicación de riego	17
6.3.4. Control de maleza.....	17
6.4 Tratamientos y diseño experimental	17
6.5. Muestreo	18

6.5.1. Colecta y preparación de muestras edáficas	19
6.5.2. Colecta y preparación muestras vegetales	19
6.6. Variables de estudio	19
6.7. Análisis de laboratorio de las muestras edáficas	20
6.8. Análisis de laboratorio para muestras vegetales	20
6.9. Análisis estadístico.....	20
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
8. CONCLUSIONES	39
9. BIBLIOGRAFIA	41
10. ANEXO.....	47

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis inicial de suelos.	15
Cuadro 2. Diseño experimental bloques al azar con arreglo factorial.	18
Cuadro 3. Análisis de Varianza N total foliar.	22
Cuadro 4. Prueba de comparación de medias en porcentaje de N total foliar en las cuatro especies.	23
Cuadro 5. Prueba de comparación de medias en porcentaje de N total foliar por tipo de suelos.	23
Cuadro 6. Análisis de Varianza para N total en tallos.	25
Cuadro 7. Prueba de comparación de medias en porcentaje de N en tallos por especie.	26
Cuadro 8. Prueba de comparación de medias en porcentaje de N en tallos por muestreo.	26
Cuadro 9. Prueba de comparación de medias en porcentaje de N en tallos por suelo.	27
Cuadro 10. Análisis de Varianza para N total en suelos.	29
Cuadro 11. Prueba de comparación de medias en porcentaje de N suelos por especie.	30
Cuadro 12. Prueba de comparación de medias en porcentaje de N en suelo.	30
Cuadro 13. Análisis de Varianza para nitrato.	32
Cuadro 14. Prueba de comparación de medias para nitrato por muestreo (mg/kg).	33
Cuadro 15. Análisis de Varianza para amonio.	34
Cuadro 16. Prueba de comparación de medias para amonio por muestreo (mg/kg).	35
Cuadro 17. N total absorbido (Kg/ha) y N fijado (Kg/ha).	36
Cuadro 18. Concentración de Lignina en las cuatro especies de <i>Lupinus</i>	38

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sitio experimental (DMCyP) y vista parcial del experimento.	13
Figura 2. Suelo Luvisol.	14
Figura 3. Suelo Regosol.	14
Figura 4. Imágenes de las especies utilizadas: a) <i>L. exaltatus</i> , b) <i>L. rotundiflorus</i> , c) <i>L. albus</i> y d) <i>L. mutabilis</i>	14
Figura 5. Cantidad de biomasa base seca de las cuatro especies por muestreo.	21
Figura 6. Contenido de N total foliar.	24
Figura 7. Contenido de N total en tallos.	28
Figura 8. Contenido de N total en suelo.	31
Figura 9. Contenido de nitrato en el suelo.	33
Figura 10. Contenido de amonio en el suelo.	35

1. INTRODUCCIÓN

Las especies del género *Lupinus* (Fabaceae), representan un gran potencial en los sistemas de producción agrícola y ecosistemas forestales, ya sea como componente esencial o como complemento productivo; cuyos beneficios probablemente no se han dimensionado en toda su magnitud.

El género *Lupinus*, incluye varias especies y numerosas variedades de uso agrícola y alimenticio, debido a sus propiedades agronómicas para la rotación primordialmente con cereales, por su capacidad de absorber nitrógeno atmosférico (N_2), transformándolo en formas orgánicas asimilables para los otros cultivos, además de tener bajo requerimiento nutricional. Así mismo representa una importante alternativa para la alimentación animal, complementando fuertemente las raciones, debido a su alto valor proteico y nutritivo (León *et al.*, 2001). La mayoría de ellos tienen un alto contenido de proteína y aceite en sus semillas, pero en el caso de las especies silvestres, el alto contenido de alcaloides limita su uso (Santa Cruz *et al.*, 2002).

El Nitrógeno (N) es el principal elemento constituyente de un gran número de compuestos esenciales que intervienen en el funcionamiento de organismos biológicos, es de suma importancia pues cumple diversas funciones esenciales y su deficiencia en las plantas, no solo limita su productividad, sino que limita significativamente su desarrollo.

En numerosos trabajos de investigación sobre dinámica de N en el sistema suelo-planta, la tarea de evaluar dicha dinámica en muchos casos es difícil; en virtud de que no es fácil distinguir el origen de este elemento en la planta, ya que puede ser tomado de la atmósfera o del suelo y en muchos sitios, a pesar de que éstos presenten niveles bajos de éste elemento, en la planta se presenta una mayor concentración.

La evaluación de N simbióticamente fijado por especies de éste género, es esencial para determinar su potencial y la función de estas especies en el mejoramiento de agro ecosistemas, en el mantenimiento de los niveles de N en el suelo (Valles *et al.*, 2003), y sobre todo, sus efectos positivos sobre la fertilidad física, química y biológica de los suelos en sitios con altos niveles de degradación; principalmente de las numerosas especies silvestres de México, que hasta ahora han sido poco estudiadas en este sentido.

Por lo que la principal finalidad del presente trabajo fue, conocer la dinámica de absorción en tres etapas fenológicas y evaluar la concentración de N en diferentes órganos de la planta de dos especies silvestres mexicanas y dos cultivadas introducidas del género *Lupinus* así como, determinar el contenido de N en diferentes formas (N total, amonio y nitrato) en los dos tipos de suelo donde se cultivaron dichas especies (Luvisol y Regosol); con lo cual, se pretende aportar información de gran utilidad sobre el comportamiento de dichas especies y su potencial en la fijación biológica de dicho elemento.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El género *Lupinus* en México y en el mundo

Las especies del género *Lupinus* están ampliamente distribuidas a nivel mundial (Diekman y Falkengren-Grerup, 2002, citado por Aldrete, 2009), pertenecen a la familia Fabaceae, subfamilia papilionáceas. Comprende alrededor de 500 especies (Marticorena y Quezada, 1985). Del total, solo siete especies han sido domesticadas: *L. mutabilis*, *L. consentinii*, *L. atlanticus*, *L. pilosus*, *L. albus*, *L. luteus* y *L. angustifolius*. De estas solo una es de origen americano *L. mutabilis*, de las cuales se han desarrollado un gran número de variedades conocidas como dulces (Gladstones, 1974).

Son plantas dicotiledóneas, pueden ser anuales, bianuales o perenes, de hábito herbáceo o arbustivas e inclusive se reporta una especie arbórea que alcanza los ocho metros de altura (Turner, 1995), con tallos solitarios, cespitosos o abundantemente ramificados de 0.5 a tres metros de altura, caracterizadas por hojas palmaticompuestas que contienen de 5 a 17 folíolos, estipulas adnadas ya sea envolviendo la base de los peciolo o llegando incluso hasta el inicio de las hojas, sus flores son autopolinizantes, pero también pueden ser polinizadas por insectos, la inflorescencia es de tamaño variable, de 10-60 cm de largo, y entre 12 a 16 mm de diámetro cada flor, sus frutos son vainas dehiscentes, compresas, verdes, pubescentes y sedosas pueden medir hasta 13 cm de largo, producen un número variable de semillas (Mc Vaugh, 1987; Bermúdez *et al.*, 1999; Calderón y Rzedowski, 2005).

Se han propuesto tres centros de origen; el primero en la región del Mediterráneo y las tierras altas de África, el segundo en la región andina de Bolivia, Chile y Perú de Sur América y el tercero en México y América del Norte (Planchuelo, 1994).

México es uno de los países con mayor biodiversidad en el mundo, albergándose aquí un gran número de plantas y animales. El género *Lupinus* no es la excepción, se estiman alrededor de 80 especies en 26 estados de la república, en el estado de Jalisco se han reportado 15 especies distribuidas en diferentes zonas de la región occidente de México (Ruiz *et al.*, 1999).

En nuestro país crece en condiciones edafoclimáticas y de vegetación sumamente contrastantes; en bosques de pino-encino o en matorrales entre 1,800 y 4,200 msnm (Mc Vaugh, 1987).

2.2. Requerimientos del género *Lupinus*

Los lupinos dulces (alimenticios) se cultivan desde los trópicos hasta las zonas templadas y áridas en el mundo, Australia es el país donde el cultivo del lupino se ha desarrollado más aceleradamente en los últimos años, lo que se reflejó según Vallejos *et al.*, (2004) en el considerable aumento de la superficie sembrada (1.3 millones/ha).

Pueden crecer en temperaturas entre 0 a 28°C, prefieren suelos ligeramente ácidos, bien drenados y bien estructurados, sin embargo las especies silvestres crecen y se adaptan bien a los suelos pobres de baja fertilidad o de reciente formación en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 4,000 msnm, en cuanto a requerimientos de precipitación, varían dependiendo de la textura y tipo de suelo, se han reportado datos de algunas especies que crecen exitosamente en zonas de baja precipitación, todas estas, características son propias de muchas áreas donde se desarrollan sistemas agrícolas de granos básicos, tanto en México como en otros países en desarrollo (Gross, 1982, citado por Rodas *et al.*, 2001; López-Ballido y Fuentes, 1986).

2.3. Importancia agronómica

Con frecuencia se compara al lupino con la soya por el valor nutritivo, aunque algunos ecotipos de lupinos superan en proteína y grasa a la soya, esta última es la fabácea que se cultiva más en el mundo, sin embargo se le cultiva sólo en las regiones subtropicales. Para los climas fríos y templados, el género *Lupinus* ofrece diferentes especies: *L. mutabilis*, *L. albus*, *L. luteus* y *L. angustifolius* (Tapia, 2000).

L. angustifolius (lupino australiano) es cultivado en suelos arenosos de Australia, Anderson *et al.*, (1998), reporta que la acumulación de N en el periodo de máxima biomasa, fluctuó entre 199 y 372 kg/ha y una tasa de fijación del 86%, mientras que otro reporte hace referencia a fijaciones de N en lupino entre 90 y 151 kg N ha, con tasas de fijación del 80%.

L. albus (altramuz del viejo mundo), fue cultivado en el mar Egeo ya en el año 400 aC, pero relativamente tienen una corta historia como cultivos domesticados, mientras que otras leguminosas de grano del Mediterráneo, como garbanzos, guisantes y lentejas fueron domesticados hace más de 10,000 años (Berger *et al.*, 2008).

L. mutabilis (lupino Andino) es una especie oriunda de los Andes conocida en el norte de Perú y en Ecuador como “chocho” y en el sur peruano y en Bolivia denominada “tarwi”, utilizadas como cultivos alimentarios indígenas, actualmente se utiliza en los campos con frecuencia como cultivo asociado, intercalándose con papa, maíz, quinua o con algún otro cultivo (Gross, 1982, citado por Peña *et al.*, 2002; Clements *et al.*, 2008).

Peñaloza, 1996, citado por Barrientos *et al.*, (2001), reportan que entre las especies cultivadas, *L. albus* y *L. angustifolius* corresponden a aquellas comercialmente más importantes para la producción de grano en el sur de Chile, las que se han incorporado en sistemas de producción basados, en principio en la rotación con cereales.

2.4. Importancia ecológica

La calidad del suelo es la capacidad para funcionar dentro de los límites de ecosistemas para sostener la productividad biológica, mantener la calidad del medio ambiente y promover la salud animal y por lo tanto tiene un profundo efecto en la salud y productividad de un ecosistema en el medio ambiente (Adeboye *et al.*, 2001).

Estas plantas desempeñan un papel ecológico importante, crea las condiciones favorables para el desarrollo de los organismos del suelo, así como el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del mismo (Bahmanyar y Ranjbar, 2008; Falkengren- Grerup y Schottelndreier, 2004, citado por Aldrete, 2009).

El reciente interés en la evaluación de la calidad del suelo ha sido estimulada por la creciente conciencia de que el suelo es un crítico componente importante de la biosfera de la tierra, ya que sus funciones no sólo son en la producción de alimentos y fibras, también en el mantenimiento de la calidad ambiental en relación con el manejo de los agro ecosistemas, en la formulación de políticas y evaluación de uso sostenible de tierras agrícolas. En muchos países, se han realizado estudios para evaluar los efectos de la gestión por prácticas como la rotación de fabáceas en la fertilidad del suelo (Adeboye *et al.*, 2001).

Asa (2002), reporta que la degradación de la tierra y la erosión del suelo han alterado los ecosistemas, inhibiendo el crecimiento de cultivos en zonas

erosionadas por un bajo contenido en nutrientes de N y heladas intensas. Lo que conlleva a depender de insumos agrícolas tales como los fertilizantes y enmiendas orgánicas. Las plantaciones de *Lupinus* como mejoradores han sido ampliamente utilizadas en recuperación de áreas erosionadas en Islandia (Asa, 2002).

Óskarsson y Sigurgeirsson (2002), reportan que el N y C contenido en el suelo aumenta considerablemente en sitios cubiertos de lupinos en las llanuras glaciales Outwash y desiertos en Islandia.

2.5. El Nitrógeno (N) en la agricultura y su relación con las fabáceas

El N atmosférico es uno de los elementos más extensamente distribuidos en la naturaleza (80% del aire) sin embargo metabólicamente no está disponible para su asimilación por las plantas superiores que no poseen mecanismos para romper el triple enlace covalente, por lo que es el más crítico en el crecimiento de las plantas (Donahue *et al.*, 1981).

Es el elemento constituyente más abundante de varios compuestos esenciales que intervienen en el funcionamiento de múltiples organismos biológicos (Valles *et al.*, 2003), ejemplo de ello son las proteínas de las plantas, clorofila, ácidos nucleicos (Donahue *et al.*, 1981).

La importancia del estudio del N en los sistemas orgánico y convencional se debe a que el N es uno de los elementos más limitantes en la producción de cultivos. Recientemente el N ha tomado importancia por su incidencia en los problemas de impacto ambiental, pues el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados provoca desnitrificación que contribuye a las emisiones terrestres de N_2O , así como lixiviación que contamina los acuíferos, se sabe que los dos procesos se favorecen con el incremento de las cantidades de fertilizantes minerales nitrogenados utilizados en la producción, por otra parte el N es un elemento de los

más dinámicos en el suelo que responde rápidamente a diferentes manejos (Acevedo *et al.*, 2011), es fácilmente soluble en el agua del suelo y es solo parcialmente retenido por las partículas de este, alimenta a los microorganismos y favorece así a la descomposición de la materia orgánica fresca (Graetz, 1990).

En forma natural, el N se encuentra en la atmósfera como gas, el cual es la principal fuente primaria de entrada para los ecosistemas, siendo así un reservorio no disponible para las plantas, excepto las que tienen la capacidad de fijarlo, por lo que para poder utilizarlo, las plantas requieren establecer simbiosis con algunas especies de bacterias, lo que les permite aportar materia orgánica rica en N al suelo (Donahue *et al.*, 1981).

El proceso de fijación de N es complejo y envuelve a una variedad de microorganismos, microfauna del suelo, plantas y animales, representa una entrada al ciclo terrestre del N de gran importancia para ecosistemas áridos. Una de las familias de plantas más reconocidas como fijadoras de N son las fabáceas, tanto árboles, arbustos y hierbas, presentan una simbiosis con bacterias del género *Rhizobium* o *Bradyrhizobium*, formando nódulos donde la bacteria fija N (Celaya y Castellanos, 2011). Las estimaciones recientes indican que contribuyen en la actualidad con más de la mitad del nitrógeno fijado por sistemas biológicos, con un aporte anual superior al de los fertilizantes químicos (Rodríguez *et al.*, 1984).

Las plantas solo pueden usar el “N combinado”, es decir aquel que ya está asociado con otros elementos para formar iones tales como el amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-) estos a su vez son intercambiables y no intercambiables fijados en partículas de arcillas. Así pues, las plantas dependen del N presente en combinaciones más reactivas. Este N biológicamente utilizable comprende solo una pequeña fracción del N total presente en la tierra (Valles *et al.*, 2003).

El nitrato es la forma de N orgánico más accesible para las plantas, a través de una secuencia de reacciones microbianas, al proceso donde al N orgánico se transforma en nitrato se le conoce como fijación biológica del N (Olivares 2004).

En la actualidad es una de las vías de aporte de N al sistema y es de gran importancia agronómica (Schulze *et al.*, 1999). El lupino es una de las fabáceas más eficaces en la fijación, además presenta un alto porcentaje de N derivado de la atmosfera, el que suele sobrepasar el 80% del N total (Unkovich *et al.*, 1997).

2.6. Importancia de los lupinos en la dinámica de N

La agricultura moderna utiliza plantas que demandan una elevada nutrición nitrogenada la cual puede ser superior al aporte de N del suelo, esto no solo contribuye a un considerable incremento en los costos de producción sino que además conlleva un riesgo potencial de contaminación y eutrofización de las aguas por lixiviación de nitratos del suelo. En consecuencia, los agroquímicos utilizados en los cultivos han alterado y disminuido la productividad del suelo al afectar su actividad microbiana y el balance nutrimental (Peña *et al.*, 2002).

Algunas estimaciones indican que, del N que deja el lupino, alrededor del 27% se mineraliza anualmente y un 74% del N mineralizado es absorbido por cada cultivo subsecuente de trigo. En el sudoeste de Australia se estima que de 33-46% del N absorbido por el trigo puede provenir de la mineralización de los residuos de lupino (Mera *et al.*, 1999).

Una hectárea de lupino puede fijar en un año entre 150 y 316 kg de N, con un promedio de 227 kg de N/ha (Castillo, 1989). Mientras que en ensayos realizados en Australia muestran que el N mineral del suelo tuvo un incremento de 41 kg/ha después de sembrar lupino, además el trigo sembrado después del lupino estuvo libre de enfermedades (Reeves *et al.*, 1984).

Barrientos *et al.*, (2001) de acuerdo con sus resultados, en el primer muestreo *L. albus* obtuvo 69% del N derivado del aire y *L. angustifolius* 49%, mientras que en el segundo y tercer periodo de muestreo observaron que en ambos cultivares fue cercano a 80-90%.

A la fecha, en México no se cultivan especies del género *Lupinus* en forma comercial, por lo que se tienen pocos estudios para su utilización como mejoradores de suelo (Ruiz *et al.*, 2006). Sin embargo en el estado de Jalisco las especies silvestres *L. exaltatus* y *L. rotundiflorus*, son abundantes y se caracterizan por su capacidad para producir materia seca aún en épocas de sequía y bajas temperaturas (Herrera *et al.*, 2010).

3. JUSTIFICACIÓN

En general, la reserva de N en la naturaleza como N_2 es abundante cerca del 80%, aunque las plantas solo lo absorben y asimilan en forma de amonio o nitrato, por lo que la agricultura moderna demanda una gran cantidad de insumos nitrogenados. Esto representa altos costos de producción, ocasiona desequilibrio en la microbiota del suelo, genera efectos contaminantes al ambiente debido a los excesos aplicados; por lo que es conveniente encontrar otras alternativas que reduzcan su uso pero que mantengan el rendimiento de los cultivos, el equilibrio microbiológico y la fertilidad de los suelos, minimizando el impacto al ambiente, con lo cual se favorecería una reducción de insumos fertilizantes, principalmente nitrogenados sintéticos. La mayoría de especies de lupinos crecen en forma silvestre y solo unas cuantas se cultivan para su aprovechamiento (plantas precursoras en sitios degradados, mejoramiento de la fertilidad de suelo, incluso como fuente de proteína). Mc Vaugh (1987), reporta que en México existen más de 80 especies de *Lupinus*, que representan gran potencial para mejorar la fertilidad edáfica, principalmente por el aporte de N a los suelos cultivados en rotación con gramíneas (maíz, sorgo, trigo, etc.) altamente demandantes de este elemento.

4. OBJETIVO GENERAL

Conocer la dinámica de absorción de N en tres etapas fenológicas de *Lupinus exaltatus* Zucc, *Lupinus rotundiflorus* M.E. Jones, *Lupinus mutabilis* Sweet y *Lupinus albus* L., además evaluar el consumo total de este elemento en suelo Regosol y Luvisol.

4.1 Objetivos específicos

- Comparar la adaptabilidad entre las especies mexicanas silvestres y las introducidas y valorar su crecimiento en los dos tipos de suelo.
- Determinar el contenido de N en hojas y tallos colectados en la etapa de crecimiento vegetativo, en floración y en formado de vaina.
- Determinar el contenido de N (total, nítrico y amoniacal) en los suelos colectados en cada etapa de crecimiento.

5. HIPÓTESIS

Las especies silvestres mexicanas (*L. exaltatus* y *L. rotundiflorus*) están mejor adaptadas que las especies cultivadas introducidas (*L. mutabilis* y *L. albus*) a las condiciones edafoclimáticas de México; por lo tanto, la fijación biológica de N es mayor y la dinámica del mismo es diferente entre especies y entre suelos.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Área de estudio

El experimento se realizó en el área de viveros del Departamento de Madera, Celulosa y Papel (DMCyP), CUCEI, Universidad de Guadalajara, Zapopan Jalisco. Se localiza en los paralelos 20°44'50.38" latitud Norte y 103°30'51.06" latitud oeste, con una altitud de 1,650 msnm; expuesto a las condiciones climáticas y ambientales de la zona (Figura 1).



Figura 1. Sitio experimental (DMCyP) y vista parcial del experimento.

6.2. Material físico y biológico

Con el fin de conocer el efecto por tipo de suelo, para el trabajo experimental se utilizaron dos tipos edáficos contrastantes en características físicas y químicas y con una condición de mayor impacto que de condición natural no degradada:

Suelo Luvisol (**Figura 2**), colectado en un área de cultivo de agave agotado en el municipio de Amatitán, Jalisco.

Suelo Regosol (**Figura 3**), proveniente de una parcela de cultivo intensivo de maíz en el valle de Nextipac del municipio de Zapopan.

Se realizaron los análisis iniciales correspondientes para ambos tipos de suelo en el Laboratorio de Agrología del Departamento de Producción Agrícola, (Cuadro 1), del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA).



Figura 2. Suelo Luvisol.



Figura 3. Suelo Regosol.

El material biológico utilizado para la presente investigación fueron semillas seleccionadas de cuatro especies del género *Lupinus*, dos corresponden a especies silvestres mexicanas: *L. exaltatus* y *L. rotundiflorus* y dos especies mejoradas para consumo humano: *L. mutabilis* y *L. albus*, las cuales fueron proporcionadas por el cuerpo académico de Productos Bióticos del Departamento de Botánica y zoología del CUCBA (Figura 4).



a)



b)



c)



d)

Figura 4. Imágenes de las especies utilizadas: a) *L. exaltatus*, b) *L. rotundiflorus*, c) *L. albus* y d) *L. mutabilis*.

Cuadro 1. Análisis inicial de suelos.

Determinaciones	Método	Luvisol	Regosol
PROFUNDIDAD cm		0-30	0-30
Densidad real grs/c.c	Picnometro	2.62	2.39
Densidad aparente grs/c.c	Probeta	0.97	1.09
Color (seco)	Munssel	7.5 YR 3/3	10 YR 5/3
Color	Munssel	Café oscuro	Café
Color (Húmedo)	Munssel	7.5 YR 2.5/3	10 YR 2/2
Color	Munssel	Café muy oscuro	Café muy oscuro
Textura Arena %	Bouyoucos	30.91	48.91
Arcilla %		43.09	17.09
Limo %		26.00	34.00
Agua aprovechable %		29.00	17.00
Clas. Textural		R	F
MATERIA ORGANICA %	Walkey-Black	1.16	1.01
C.I.C meq/100grs	Acetato de amo.	24.10	13.62
CACIONES INTERCAMBIABLES			
Ca+MgMeq/100gr	Volumetria	1.54	1.93
Ca Meq/10gr	Volumetria	1.16	1.54
Mg Meq/100gr	Calculado	0.384	0.390
NaMeq/100gr	Flamometria	0.049	0.049
K Meq/100gr	Flamometria	0.166	0.166
FERTILIDAD			
pH	Potenciómetro	5.05	4.60
Nitrógeno nítrico ppm	Morgan	2.00	4.15
Nitrógeno amoniacal ppm	Morgan	12	35
Fósforo ppm	Morgan	40	40
Potasio ppm	Morgan	180	250
Calcio ppm	Morgan	1,600	900
Magnesio ppm	Morgan	50	12
Manganeso ppm	Morgan	12	12
Conductividad eléctrica en milimhos/cm a 25 °C	Conductímetro	0.18	0.13

6.3. Establecimiento y seguimiento del experimento

Para la obtención de plántulas, se utilizaron cuatro charolas de germinación con 78 cavidades, sustrato a base de suelo mineral con material orgánico; las plántulas germinadas fueron trasplantadas tres semanas después de la germinación a 120 cubetas de 19 L de capacidad, previamente llenadas y acondicionadas con los dos tipos de suelo.

Las semillas de las dos especies silvestres, fueron sometidas a un proceso de escarificación; inmersas en ácido sulfúrico concentrado 96% (H_2SO_4) durante 45 minutos para después lavarlas con abundante agua hasta dejarlas libres del ácido; lo cual es requerido para facilitar una germinación homogénea, ya que en este tipo de semillas se presenta una testa de protección gruesa y resistente.

6.3.1. Siembra en charola

Las semillas fueron sembradas en el mes de Julio en charolas de germinación previamente lavadas, desinfectadas y llenadas con el sustrato elaborado a base de suelo mineral y composta (50/50: v/v); las cuales se colocaron a la intemperie y el riego aplicado fue cada tres días durante tres semanas.

6.3.2. Trasplante

Cada tipo de suelo fue homogenizado y colocado en las cubetas con la misma cantidad, se utilizaron 15 cubetas para cada tipo de suelo y para cada especie. Se trasplantaron de 3 a 4 plántulas por cubeta para asegurar el establecimiento de las necesarias, posteriormente sólo se dejaron las dos mejores plantas por cubeta, eliminando las restantes a las 4 semanas después del trasplante (Agosto).

6.3.3. Seguimiento del cultivo y aplicación de riego

A todas las plantas se les dio el mismo manejo y seguimiento; la aplicación de riego fue cada tres-cuatro días, adicionando la misma cantidad por maceta. En cuanto al control de plagas o enfermedades, no fue necesaria la aplicación de ningún tipo de producto, gracias a que no se presentó ningún problema fitosanitario. Durante todo el cultivo se mantuvo vigilancia constante para evitar contingencias en el mismo.

6.3.4. Control de maleza

La limpieza de maleza fue manual y programada cada 15-22 días, con la finalidad de evitar la presencia de otras plantas que interfirieran y alteraran los resultados. No se aplicó ningún tipo de herbicida al cultivo.

6.4 Tratamientos y diseño experimental

Para analizar las variables en estudio se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial. Se estudiaron tres factores, el primero correspondió al factor suelo con dos niveles (Regosol y Luvisol), el segundo al factor especies con cuatro niveles (*L. exaltatus*, *L. rotundiflorus*, *L. albus* y *L. mutabilis*), el tercer factor y sus niveles corresponden a tres etapas fenológicas de desarrollo; en las cuales se realizaron los muestreos (M1: en etapa de desarrollo vegetativo acelerado; M2: etapa de floración y M3: etapa de formación de vaina). Se evaluaron sólo 9 de las 15 cubetas empleadas por especie (**Cuadro 2**).

Cuadro 2. Diseño experimental bloques al azar con arreglo factorial.

Factor suelo	Factor especie	Factor etapa de crecimiento	Tratamientos	Repeticiones
Luvisol	<i>L. exaltatus</i>	M1	T1	3
		M2	T2	3
		M3	T3	3
	<i>L. rotundiflorus</i>	M1	T4	3
		M2	T5	3
		M3	T6	3
	<i>L. albus</i>	M1	T7	3
		M2	T8	3
		M3	T9	3
	<i>L. mutabilis</i>	M1	T10	3
		M2	T11	3
		M3	T12	3
Regosol	<i>L. exaltatus</i>	M1	T13	3
		M2	T14	3
		M3	T15	3
	<i>L. rotundiflorus</i>	M1	T16	3
		M2	T17	3
		M3	T18	3
	<i>L. albus</i>	M1	T19	3
		M2	T20	3
		M3	T21	3
	<i>L. mutabilis</i>	M1	T22	3
		M2	T23	3
		M3	T24	3

6.5. Muestreo

Se realizaron tres muestreos, uno para cada etapa fenológica definida. La primera colecta de muestras se realizó a los 70 días (Noviembre) después del trasplante, el cual correspondió a crecimiento vegetativo acelerado, el segundo muestreo fue a los 115 días (Diciembre) cuando la mayoría de las plantas iniciaron la floración y el tercer muestreo se realizó a los 150 días (Enero), en etapa de fructificación.

6.5.1. Colecta y preparación de muestras edáficas

En cada muestreo vegetal también se colectaron muestras de suelo para cada especie; y para lograr muestras representativas, se vació todo el contenido de suelo de las tres cubetas, se homogenizó y se tomó una muestra de un kg aproximadamente de cada repetición (cubeta), con los cuales se conformó la muestra para analizar. Las muestras fueron secadas a la sombra y a temperatura ambiente, posteriormente se tamizaron en malla de 0.60 mm, se almacenaron en depósitos nuevos y serrados colocados en un lugar fresco y seco para su posterior análisis.

6.5.2. Colecta y preparación muestras vegetales

Se tomaron tres repeticiones para cada etapa de muestreo, se colectaron las dos plantas por cubeta para cada especie; éstas fueron cortadas desde la base, se pesaron por separado la parte aérea (hojas y tallos) para cada especie en fresco, posteriormente fueron lavadas con agua corriente y enseguida enjuagadas con agua destilada, para eliminar impurezas, se dejaron escurrir sobre papel absorbente durante 30 min y luego se pusieron a secar en estufa a 70°C hasta peso constante, posteriormente se volvieron a pesar para obtener el peso seco.

Las muestras obtenidas (hojas y tallos) de las tres etapas de crecimiento fueron molidas y tamizadas en malla 0.60 mm por separado, para determinar su contenido de nitrógeno.

6.6. Variables de estudio

Biomasa en peso seco (MS)

Concentración de Nitrógeno total en tallos, hojas y suelo.

Concentración de nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+) en suelo.

Cuantificación de lignina en tallos (lignina Klason)

6.7. Análisis de laboratorio de las muestras edáficas

Nitrógeno total por medio del método Micro-Kjeldhal. (AS-25). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

Nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+), fueron determinados por la técnica Micro-Kjeldhal, por medio de arrastre de vapor. (AS-08). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

Para la caracterización física y química inicial, se consideraron las técnicas utilizadas por el Laboratorio mencionado anteriormente.

6.8. Análisis de laboratorio para muestras vegetales

Nitrógeno total por medio del método Micro-Kjeldhal. (AS-25). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

Lignina Klason por medio de la técnica Lignina de madera y pulpa insoluble en ácidos, TAPPI 222.

6.9. Análisis estadístico

Los valores obtenidos de las variables evaluadas, se organizaron en gráficos y se evaluaron estadísticamente por medio de un análisis de varianza y una comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Todas las plantas de las especies en estudio mostraron diferencias significativas en desarrollo y adaptabilidad a los suelos en donde se cultivaron; resultando que las especies que presentaron mejor crecimiento y mayor producción de biomasa fueron *L. rotundiflorus* y *L. exaltatus* en los dos tipos de suelo, mientras que las especies cultivadas (*L. albus*, *L. mutabilis*) presentaron la menor producción de biomasa; lo cual se debe a la diferencia entre las especies en su morfología, fisiología y requerimientos nutrimentales, además, en el último muestreo se presentaron diferencias de biomasa por tipo de suelo para cada especie, lo mismo fue observado para el crecimiento de las mismas; en este sentido, el suelo Regosol favoreció una mejor adaptación para las cuatro especies (Figura 5).

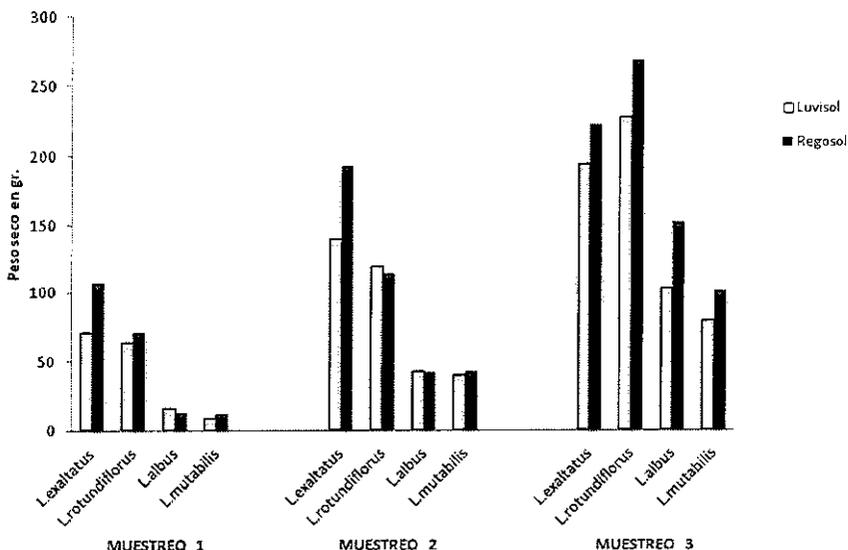


Figura 5. Cantidad de biomasa base seca de las cuatro especies por muestreo.

Análisis de N en tejido vegetal

N en hojas.

El análisis de varianza presenta que los resultados del contenido de N total foliar en todas las especies fueron diferentes para cada muestreo, ya que éstas fueron estadísticamente significativas ($P < 0.05$) entre especies y los dos tipos de suelos (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de Varianza N total foliar.

<i>Fuente (efectos principales)</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:especie	11.0193	3	3.6731	38.44	0.0000
B:muestreo	0.235208	2	0.117604	1.23	0.3011
C:suelo	5.79701	1	5.79701	60.67	0.0000
INTERACCIONES					
AB	4.63206	6	0.77201	8.08	0.0000
AC	1.13035	3	0.376783	3.94	0.0136
BC	1.06511	2	0.532554	5.57	0.0067
ABC	1.65918	6	0.27653	2.89	0.0173
RESIDUOS	4.58647	48	0.0955514		
TOTAL (CORREGIDO)	30.1247	71			

Existen diferencias estadísticas significativas para el contenido de N foliar entre las especies, con un mayor valor las especies cultivadas de *L. albus* y *L. mutabilis* ya que tienen valores similares entre ambas; las especies silvestres también fueron diferentes entre ellas con las concentraciones más bajas, siendo *L. rotundiflorus* la especie con menor contenido de N pero con un gran desarrollo (**Cuadro 4**).

Cuadro 4. Prueba de comparación de medias en porcentaje de N total foliar en las cuatro especies.

<i>Especie</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i> %	<i>Sigma LS</i>
<i>L. rotundifolius</i>	18	2.34778a	0.0728588
<i>L. exaltatus</i>	18	2.65167b	0.0728588
<i>L. mutabilis</i>	18	3.19111c	0.0728588
<i>L. albus</i>	18	3.30444c	0.0728588

Entre los dos tipos de suelos hubo diferencias significativas para el contenido de N foliar, favoreciendo el suelo Regosol ante el suelo Luvisol (**cuadro 5**).

Cuadro 5. Prueba de comparación de medias en porcentaje de N total foliar por tipo de suelos.

<i>Suelo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i> %	<i>Sigma LS</i>
Luvisol	36	2.59a	0.051519
Regosol	36	3.1575b	0.051519

Barrientos *et. al* (2001) reporta el porcentaje de N en hojas de *L. angustifolius* y *L. albus* en un rango de 3-4% respectivamente para el primer muestreo, mientras que para el segundo y tercer muestreo fue disminuyendo hasta 1-2%. Relacionando los tres muestreos realizados y los dos tipos de suelo; el muestreo uno, mantuvo contenidos similares de N, desde 2.66% hasta 3.31%. El contenido de N más bajo se encontró en *L. exaltatus* en suelo Luvisol y el dato más alto lo presentó *L. albus* en suelo Regosol; en el muestreo dos, *L. rotundiflorus* presentó la concentración más baja de 1.69% y el valor más alto se encuentra en *L. albus* con un total de 4.10% respectivamente. El muestreo tres se presenta en un rango de 1.82% a 3.95% representando el valor más bajo la especie de *L. rotundiflorus* en los dos tipos de suelo, el más alto se mantiene en *L. albus*, seguido de *L. mutabilis*, esto se debe a que puede ser utilizado para la producción de grano debido al elevado contenido de proteína (Barrientos *et al.*, 2001).

(Figura 6).

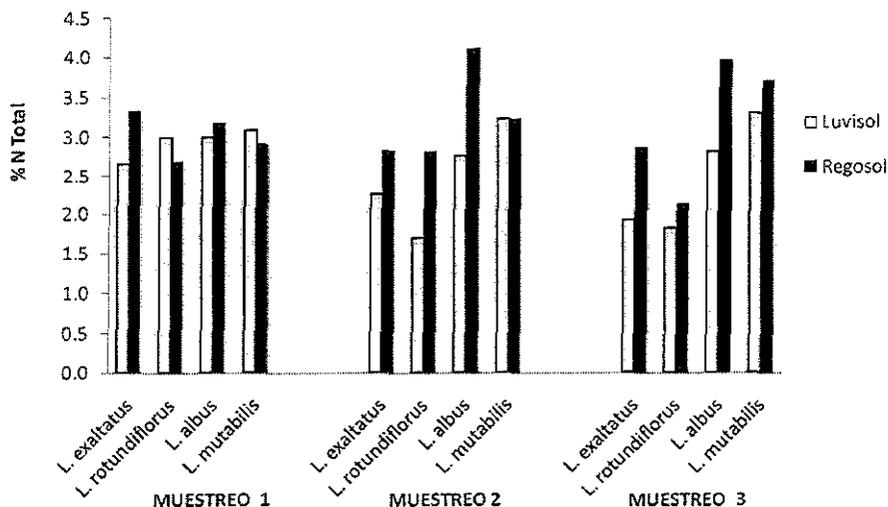


Figura 6. Contenido de N total foliar.

N en tallos.

El análisis de varianza en las muestras vegetales que corresponden a la parte de los tallos, demuestra que los resultados obtenidos si presentan diferencias significativas estadísticamente ($P < 0.05$) entre especies, muestreos y en los dos tipos de suelos (**Cuadro 6**).

Cuadro 6. Análisis de Varianza para N total en tallos.

<i>Fuente (efectos principales)</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:especie	4.06234	3	1.35411	8.12	0.0002
B:muestreo	2.03006	2	1.01503	6.08	0.0044
C:suelo	0.728022	1	0.728022	4.36	0.0421
INTERACCIONES					
AB	3.4551	6	0.57585	3.45	0.0065
AC	0.148656	3	0.0495519	0.30	0.8274
BC	0.0513861	2	0.0256931	0.15	0.8577
ABC	0.723836	6	0.120639	0.72	0.6331
RESIDUOS	8.0092	48	0.166858		
TOTAL (CORREGIDO)	19.2086	71			

Las diferencias significativas entre especies, mostraron que las especies *L. exaltatus*, *L. albus* y *L. mutabilis* comparten estadísticamente valores similares entre ambas, mientras que *L. rotundiflorus* mostró mejor respuesta en la concentración de N entre las cuatro especies (**Cuadro 7**).

Cuadro 7. Prueba de comparación de medias en porcentaje de N en tallos por especie.

<i>Especie</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>
		%	
<i>L. mutabilis</i>	18	1.03889a	0.0962804
<i>L. albus</i>	18	1.31167a	0.0962804
<i>L. exaltatus</i>	18	1.32333a	0.0962804
<i>L. rotundiflorus</i>	18	1.70611b	0.0962804

Tomando en cuenta la comparación de medias, el factor que corresponde a los tres muestreos realizados presenta diferencias significativas; el primero y segundo muestreo fue muy semejante estadísticamente y mejor representados que el tercer muestreo en cuanto ha contenido de N en tallos (**Cuadro 8**).

Cuadro 8. Prueba de comparación de medias en porcentaje de N en tallos por muestreo.

<i>Muestreo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i>	<i>Sigma LS</i>
		%	
3	24	1.11625a	0.0833812
2	24	1.40417b	0.0833812
1	24	1.51458b	0.0833812

En cuanto al factor suelo, la comparación de medias muestra en cuál de los dos tipos de suelo se obtuvo más N en los tallos, presentando diferencias estadísticas, tuvo mejor rendimiento el suelo Regosol (**Cuadro 9**).

Cuadro 9. Prueba de comparación de medias en porcentaje de N en tallos por suelo.

Suelo	Casos	Media LS	Sigma LS
		%	
Luvisol	36	1.24444a	0.0680805
Regosol	36	1.44556b	0.0680805

Los valores obtenidos de concentración de N en tallos fueron diferentes para cada especie en los tres muestreos.

En el primer muestreo *L. rotundiflorus*, *L. exaltatus* y *L. albus*, presentaron una concentración de N similar en un rango de 1.38-1.87% en suelo Luvisol y 1.6-2.14% para suelo Regosol, mientras *L. mutabilis* mantuvo valores por debajo, con 0.62% para suelo Luvisol y 0.89% para Regosol, valores similares a los reportados por Barrientos *et al.*, (2001) con un rango de 1-2% y disminuyendo en cada muestreo. En el segundo y tercer muestreo hubo un incremento en *L. mutabilis* mientras que en las demás especies se presentó un decremento gradual en cada muestreo, esto debido a que el N es un nutriente móvil dentro de la planta, siendo retransportado a órganos más jóvenes (**Figura 7**).

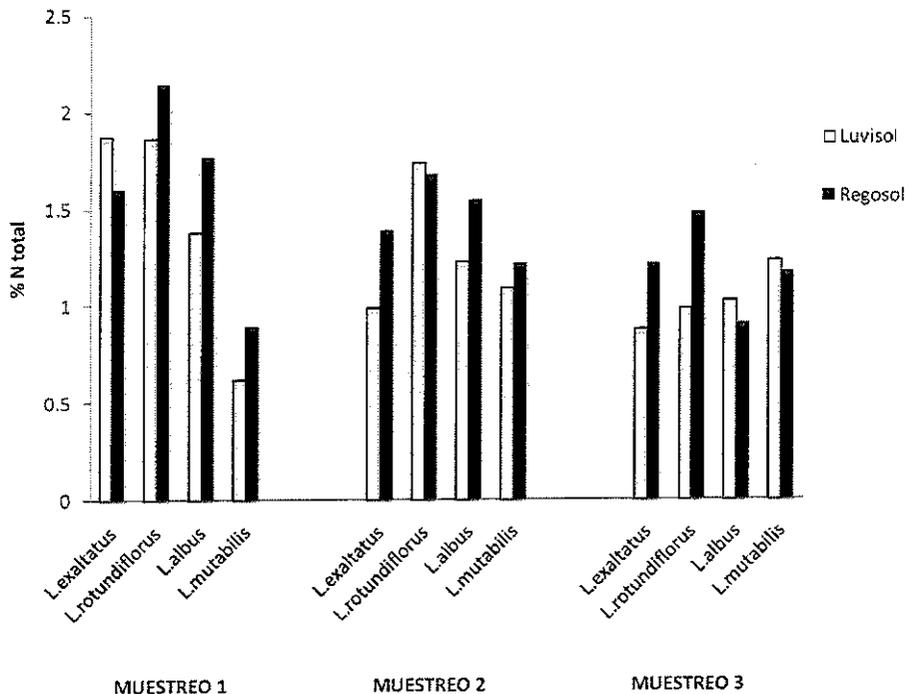


Figura 7. Contenido de N total en tallos.

Análisis de N suelos.

N en suelos.

El análisis de varianza (**Cuadro 10**) muestra los resultados obtenidos en los dos tipos de suelo presentando diferencia significativa ($P < 0.05$) en cuanto a los factores que corresponden a las especies y a los suelos con un valor de 0.0222 y 0.0108 respectivamente.

Cuadro 10. Análisis de Varianza para N total en suelos.

<i>Fuente (efectos principales)</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:especie	0.0104819	3	0.00349398	3.51	0.0222
B:muestreo	0.00128611	2	0.000643056	0.65	0.5288
C:suelo	0.00700139	1	0.00700139	7.03	0.0108
INTERACCIONES					
AB	0.00388056	6	0.000646759	0.65	0.6902
AC	0.00169306	3	0.000564352	0.57	0.6396
BC	0.00303611	2	0.00151806	1.52	0.2281
ABC	0.00301944	6	0.000503241	0.51	0.8012
RESIDUOS	0.0478	48	0.000995833		
TOTAL (CORREGIDO)	0.0781986	71			

Los valores de las medias prueban la significancia estadística de las cuatro especies puesto que dos valores son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre N en los suelos con un 95.0% de nivel de confianza (**Cuadro 11**).

Cuadro 11. Prueba de comparación de medias en porcentaje de N suelos por especie.

<i>Especie</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i> %	<i>Sigma LS</i>
<i>L. exaltatus</i>	18	0.0261111 a	0.00743802
<i>L. albus</i>	18	0.0433333 ab	0.00743802
<i>L. mutabilis</i>	18	0.0555556 b	0.00743802
<i>L. rotundiflorus</i>	18	0.0555556 b	0.00743802

Se presentan diferencias significativas en el factor suelo, siendo así el suelo Luvisol el más representativo que el Regosol, esto debido a que hubo menos gasto del contenido inicial en los tres muestreos (**Cuadro 12**).

Cuadro 12. Prueba de comparación de medias en porcentaje de N en suelo.

<i>Suelo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i> %	<i>Sigma LS</i>
Regosol	36	0.0352778a	0.00525947
Luvisol	36	0.055b	0.00525947

El contenido de N total inicial de los dos tipos de suelos es de 0.10% para el suelo de tipo Luvisol y 0.11% para Regosol, los cuales se encuentran en el rango medio de 0.10 a 0.15% propuesto por la NOM-021y por debajo a los reportados por Aldrete *et al.*, (2009) de 0.13%.

En el primer muestreo el suelo Regosol con la especie *L. exaltatus* fue el más bajo con 0.01% y el más alto se mantuvo con 0.05% perteneciendo a la especie *L. mutabilis*, mientras que en el suelo Luvisol el rango estuvo de 0.05% para *L. exaltatus* y 0.08% corresponde a *L. albus*, en el segundo muestreo se conservaron las especies *L. exaltatus* y *L. albus* por debajo de *L. mutabilis* y *L. rotundiflorus*. En el tercer muestreo se presenta más deficiencia en suelo Regosol que en Luvisol. Jacobsen y Mujica (2006), comenta que esto se debe a que las especies de este género prefieren los suelos franco-arenosos como lo es el suelo Regosol, mientras que Mera *et al.*, (1999), comenta que el lupino, como otras fabáceas, consume grandes cantidades de N durante su desarrollo, mayores cuanto sea mayor el rendimiento (Figura 8).

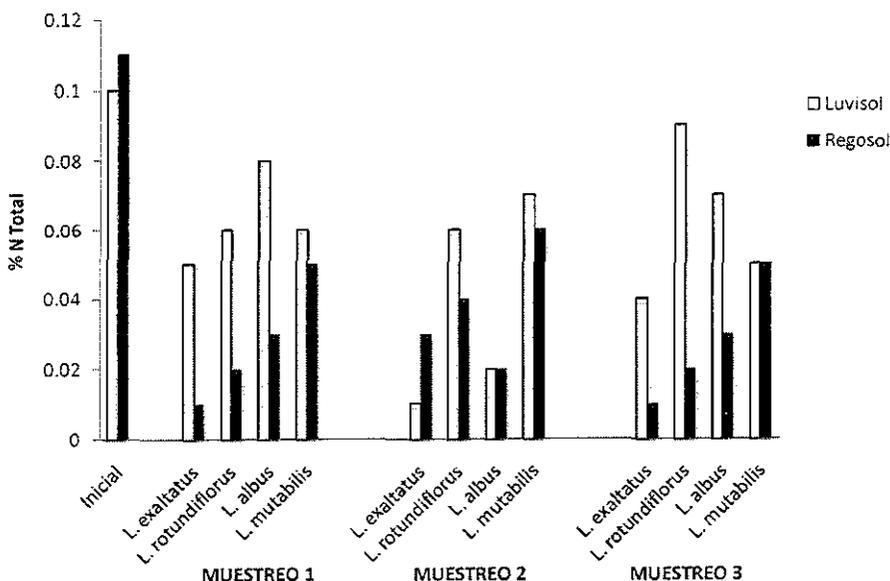


Figura 8. Contenido de N total en suelo.

Nitrato (NO₃)

Los resultados de nitrato del suelo, muestran que solo hay diferencia significativa ($P < 0.05$) en el factor que representa a los tres muestreos realizados con un valor de 0.0003, en lo que respecta al factor especie y tipos de suelo no se presentan diferencias estadísticas (**Cuadro 13**).

Cuadro 13. Análisis de Varianza para nitrato.

<i>Fuente (efectos principales)</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:especie	377.691	3	125.897	1.27	0.2960
B:muestreo	1929.86	2	964.928	9.72	0.0003
C:suelo	170.017	1	170.017	1.71	0.1970
INTERACCIONES					
AB	725.944	6	120.991	1.22	0.3135
AC	78.6207	3	26.2069	0.26	0.8511
BC	61.4416	2	30.7208	0.31	0.7354
ABC	57.2001	6	9.53335	0.10	0.9965
RESIDUOS	4767.0	48	99.3124		
TOTAL (CORREGIDO)	8167.77	71			

El primer muestreo fue el que presentó mayor cantidad de nitrato, mientras que el tercer muestreo presentó una disminución considerable, el segundo muestreo comparte similitud estadística con el primero y tercer muestreo debido a que hubo un gasto intermedio entre ambos (**Cuadro 14**).

Cuadro 14. Prueba de comparación de medias para nitrato por muestreo (mg/kg).

<i>Muestreo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i> mg/kg	<i>Sigma LS</i>
3	24	7.08167a	2.03421
2	24	13.7604ab	2.03421
1	24	19.7571b	2.03421

El contenido de nitrato fue disminuyendo conforme avanzaron los muestreos; en el primer muestreo *L. albus* obtuvo los valores más altos, con 32.66 mg/kg en el suelo Regosol mientras que para suelo Luvisol fue de 28.22 mg/kg, *L. mutabilis* en suelo Regosol fue el más bajo con 13.31 mg/kg, mientras que *L. exaltatus* fue el más bajo en suelo Luvisol con 13.31 mg/kg. En la última etapa de muestreos los dos tipos de suelo presentan una disminución considerable en las cuatro especies (Figura 9).

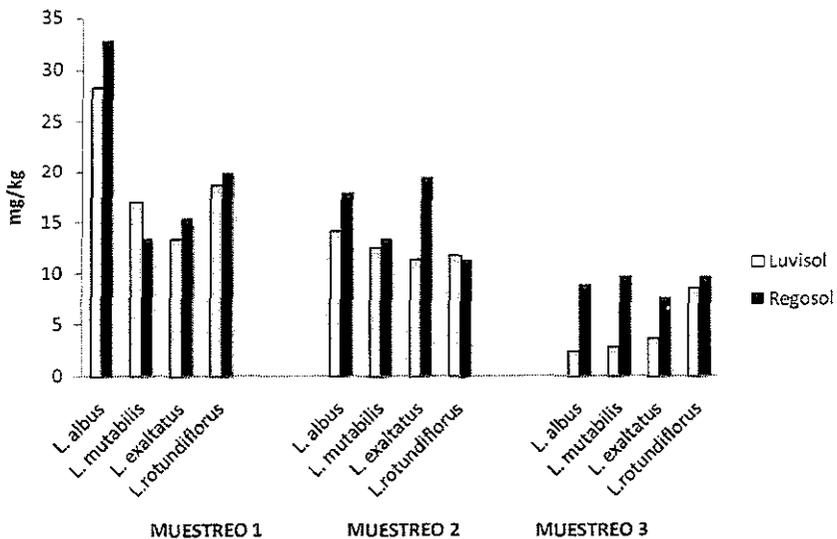


Figura 9. Contenido de nitrato en el suelo.

Amonio (NH₄⁺)

Los resultados del análisis de varianza realizado para la concentración de amonio en los dos tipos de suelo, se muestra en el (Cuadro 15), en el cual se encuentra diferencia significativa con un nivel del 95% de confianza en el factor que representa a los tres muestreos, mientras que los factores especie y suelo no presentaron diferencias estadísticas.

Cuadro 15. Análisis de Varianza para amonio.

<i>Fuente (efectos principales)</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:especie	322.806	3	107.602	0.25	0.8598
B:muestreo	10735.0	2	5367.49	12.55	0.0000
C:suelo	1.64409	1	1.64409	0.00	0.9508
INTERACCIONES					
AB	2829.9	6	471.651	1.10	0.3747
AC	585.451	3	195.15	0.46	0.7141
BC	804.514	2	402.257	0.94	0.3975
ABC	254.946	6	42.491	0.10	0.9961
RESIDUOS	20531.6	48	427.743		
TOTAL (CORREGIDO)	36065.9	71			

Lo que corresponde a la diferencia estadística entre muestreos es debido a que en el primer muestreo se presentó mayor concentración de amonio en los dos tipos de suelo, mientras que en el segundo y tercer muestreo fue disminuyendo (Cuadro 16).

Cuadro 16. Prueba de comparación de medias para amonio por muestreo (mg/kg).

<i>Muestreo</i>	<i>Casos</i>	<i>Media LS</i> mg/kg	<i>Sigma LS</i>
3	24	4.63417a	4.22168
2	24	16.7321a	4.22168
1	24	34.3721b	4.22168

En el primer muestreo los niveles de amonio se presentan más altos que para los demás muestreos, esto es por el consumo que presento durante su crecimiento y desarrollo de la planta, las cuatro especies manifestaron un decremento gradual en las tres etapas de muestreo (**Figura 10**).

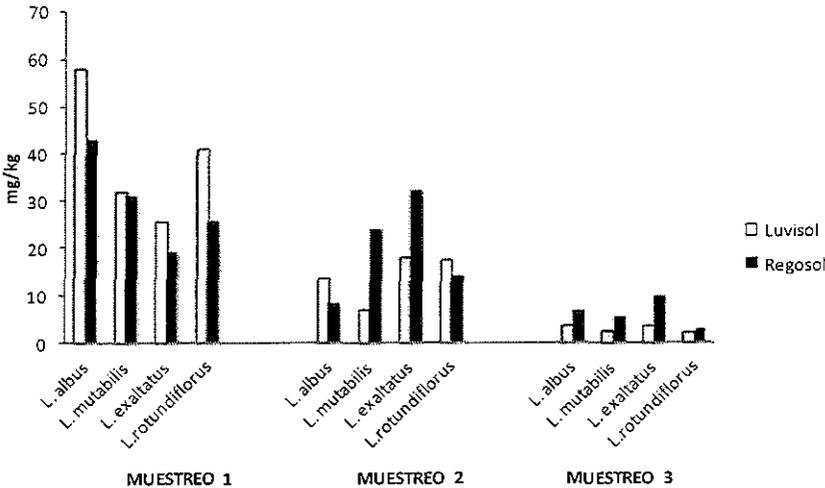


Figura 10. Contenido de amonio en el suelo.

Estimación de N incorporado al suelo

En los resultados arrojados por las cuatro especies se observó que *L. rotundiflorus* fue la más eficaz para la incorporación de N en los dos tipos de suelos seguida de *L. albus*, mientras que *L. mutabilis* y *L. exaltatus* presentaron una tasa de fijación similar pero más baja que las otras especies (**Cuadro 17**).

Cuadro 17. N total absorbido (Kg/ha) y N fijado (Kg/ha).

<i>Especie</i>	<i>Suelo</i>	<i>N suelo inicial kg/ha.</i>	<i>N suelo final kg/ha.</i>	<i>N total biomasa kg/ha.</i>	<i>Ganancia Kg/ha.</i>
<i>L. mutabilis</i>	Luvisol	312.50	156.25	194.66	38.41
<i>L. mutabilis</i>	Regosol	302.75	137.61	272.5	107.36
<i>L. albus</i>	Luvisol	312.50	218.75	264.51	170.76
<i>L. albus</i>	Regosol	302.75	82.56	420.35	200.16
<i>L. rotundiflorus</i>	Luvisol	312.50	281.25	272.31	241.06
<i>L. rotundiflorus</i>	Regosol	302.75	110.09	389.28	196.62
<i>L. exaltatus</i>	Luvisol	312.50	125.00	216.30	28.80
<i>L. exaltatus</i>	Regosol	302.75	27.52	393.46	118.23

En los tres muestreos realizados las especies silvestres (*L. rotundiflorus* y *L. exaltatus*) fueron las especies que generaron más biomasa seca foliar que las cultivadas (*L. mutabilis* y *L. albus*) en los dos tipos de suelos, pero en porcentaje de contenido de N en la planta para el primer muestreo se mantuvieron similares en las cuatro especies, para el segundo y tercer muestreo hubo un incremento en el contenido de N en las especies cultivadas, la cantidad de N que fijaron está relacionado con la biomasa generada y porcentaje de contenido de N de cada especie, ya que en las especies silvestres fue mayor la cantidad de biomasa y la concentración fue un poco menor que las cultivadas, por este motivo *L. rotundiflorus* fue la especie que mejor resultó para la incorporación aportando 241 kg/ha para suelo Luvisol y para suelo Regosol 196kg/ha, seguida de *L. albus* con 170 kg/ha y 200 kg/ha respectivamente, mientras *L. mutabilis* y *L. exaltatus* obtuvieron una tasa de incorporación baja con 38 y 28 kg/ha, pero en suelo Regosol presentaron 107 y 118kg/ha respectivamente, León *et al.*, (2001) reporta que las plantas de *L. albus* con simbiosis efectiva son capaces de acumular el equivalente a la fertilización con 168 kg/ha, mientras que Barrientos *et al.*,(2001) en un estudio realizado con *L. albus* y *L. angustifolius*, presentaron 186 kg/ha y 151 kg/ha respectivamente, mientras que Hycka (1965), refiere que un buen cultivo de veza común (*Vicia sativa* L.) puede acumular en el suelo hasta 80 kg/ha de N, lo que equivale a una aportación de 400 kg de abonos minerales en forma de sulfato amónico o de 500 kg en forma de nitratos, esto se debe a la gran asociación que presentan las fabáceas con las bacterias de los géneros *Rhizobium* o *Bradyrhizobium* y a ciertos factores como pueden ser pH, humedad, temperatura.

Lignina Klason.

Las ligninas son heteropolimeros de naturaleza aromática, presentan una composición compleja y variable, estas impregnan los tejidos vegetales leñosos y constituyen hasta el 30% de toda la biomasa vegetal de las plantas leñosas y del 10-20% para las herbáceas (Labrador, 1996), las cuatro especies presentaron concentraciones similares que van del 20.76-23.52% (**Cuadro 18**), lo cual nos muestra que se encuentra en un rango entre plantas herbáceas y leñosas, (Hernández *et al.*, 2007) explican que el contenido de lignina de los materiales orgánicos resultó ser un indicador más preciso del proceso de la mineralización de los residuos aplicados al suelo, al ser incorporados los tallos al suelo presentan un periodo de tiempo para ser descompuestos por los microorganismos, por lo que son una forma de reservas de nutrientes.

Cuadro 18. Concentración de Lignina en las cuatro especies de *Lupinus*.

<i>Especie</i>	<i>% Lignina</i>
<i>L. albus</i>	21.89%
<i>L. exaltatus</i>	20.76%
<i>L. rotundiflorus</i>	21.49%
<i>L. mutabilis</i>	23.52%

8. CONCLUSIONES

1. La dinámica de absorción N en *Lupinus exaltatus* Zucc, *Lupinus rotundiflorus* M.E. Jones, *Lupinus mutabilis* Sweet y *Lupinus albus* L. presentó un comportamiento diferencial entre especies y por etapa de crecimiento evaluada; lo cual se relacionó con el consumo de este elemento en el suelo Regosol y Luvisol.
2. El comportamiento y desarrollo de las especies mexicanas silvestres fue mejor, en comparación con las especies cultivadas lo cual se manifestó en una mayor producción de biomasa; mostrando los mejores valores las plantas cultivadas en el suelo Regosol.
3. El contenido de N foliar fue mayor en las especies cultivadas que en las silvestres; con respecto al contenido en tallo, las diferencias entre especies fueron muy amplias y los valores mayores se presentaron en *L. rotundiflorus* en el suelo Regosol.
4. Respecto a las etapas de crecimiento, el contenido de N tuvo un comportamiento diferencial entre las cuatro especies, lo cual fue más evidente en la etapa de floración y de llenado de vaina, sobre todo para *L. albus* y *L. mutabilis*, quienes mostraron los mayores valores; durante el primer muestreo de desarrollo acelerado las diferencias entre especies fueron menores.

5. El contenido de N total en suelo se disminuyó drásticamente desde del primer muestreo en todas las especies y para ambos tipos de suelo en los contenedores individuales, respecto al valor inicial.
6. Los valores de N total para el suelo Luvisol se mantuvieron casi constantes y sin disminuir después del primer muestreo, por el contrario en el suelo Regosol, las especies silvestres fueron las que agotaron más el contenido de N en el primer y tercer muestreo.
7. Los contenidos de nitrato y amonio en el suelo, fueron agotándose a medida que las plantas pasaron de una etapa a otra de desarrollo, siendo la forma amoniaca la más agotada.
8. La fijación biológica de N fue estimada al calcular la reincorporación de biomasa producida por especie en peso seco y su contenido de N, resultó que puede aumentar el contenido de N edáfico en ambos tipos de suelo desde el 10% hasta más de 70%, *L. rotundiflorus* y *L. albus*, mantuvieron niveles óptimos en la tasa de fijación, mientras que *L. exaltatus* y *L. albus* presentaron una tasa de fijación baja en suelo Luvisol.
9. El porcentaje encontrado de lignina en tallo, fue similar para todas las especies y se mantiene un contenido considerado intermedio entre plantas herbáceas y leñosas; lo cual es una importante reserva de N y C para el suelo cuando son incorporados.

9. BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, D., Álvarez M., Hernández E. y Améndola R. 2011. Concentración de Nitrógeno en suelo por efecto de manejo orgánico y convencional. *Terra* 29: 325-332.
- Adeboye, M.K.A., Bala A., Osunde A.O., Uzoma A.O., Odofin A. J. and Lawal B.A. 2001. Assessment of soil quality using soil organic carbon and total nitrogen and microbial properties in tropical agroecosystems. *Agricultural Sciences* 2 (1): 34-40.
- Aldrete, C. A., Espinoza H. V., Cruz L. N., Ojeda T.E. and Brito V. H. 2009. Evaluation of two *Lupinus* species Native from Central México in relation with solubilization of Nitrogen, Phosphorus and Potassium in an Andosol. *Journal of Applied Sciences* 9(8): 1583-1587.
- Anderson, G., Fillery P. and Asseng S. 1998. Nitrogen and water flows under pasture-wheat and lupin-wheat rotations in deep sands in Western Australia. 1. Nitrogen fixation in legumes, net N mineralization, and utilization of soil-derived nitrogen. *Austr. J. Agric. Res.* 49: 329-343.
- Asa. L. A. 2002. Does the nootka lupin facilitate or impede colonization and growth of native birch in iceland? In: proceedings of the 10th International Lupin Conference, Laugarvatn, Iceland. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand.184-190 pp.
- Bahmanyar, M. A. and Ranjbar, G. A. 2008.The role of potassium in improving growth indices and increasing amount of grain nutrient elements of wheat cultivars.*J. Applied Sci.* 8: 1280-1285.

- Barrientos, D. L., Montenegro B. A., y Pino N. I. 2001. Evaluación de la fijación simbiótica de Nitrógeno de *Lupinus albus* y *L. angustifolius* en un Andisol Vilcun del sur de Chile. *Terra* 20: 39-44.
- Berger, J.D., Ludwig C. and Buirchell B.J. 2008. Ecogeography of the old world lupins: characterising the habitat range. In: proceedings of the 12th International Lupin Conference, Fremantle, Western Australia. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand. 355-361.
- Bermudez, T. K., Robledo Q. N., Martinez H. J., Tei A. and Wink M. 1999. Biodiversity of the genus *lupinus* in México. In: proceedings of the 9 th international lupin Conference. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand. 23-25.
- Calderon de Rzedowski, G. y Rzedowski J. 2005. Flora fanerogámica del valle de México. Comisión Nacional para la Biodiversidad-Instituto de Ecología 290-300 pp.
- Castillo, D. 1989. Inoculantes e inoculación. In: V Seminario de Leguminosas de Grano. Temuco, Chile. Series Carillanca, INIA 10: 39-53.
- Celaya, H. y Castellanos A. 2011. Mineralización de Nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra* 29: 343-356.
- Clements, J.C., Sweetingham M.S., Smith L., Francis G., Thomas G. and Sipsas S. 2008. Crop improvement in *lupines mutabilis* for Australian agriculture progress and prospects. In: proceedings of the 12th International Lupin Conference, Fremantle, Western Australia. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand. 244-250.
- Diekmann, M. and Falkengreen-Grerup, U. 2002. Prediction of species responses to atmospheric nitrogen deposition. *J. Ecol.* 90: 108-120.
- Donahue, L. R., Miller W. R., y Shickluna C. J. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Ed. Dossat S.A. Madrid España.

- Falkengren-Grerup U. and Schottelndreier M. 2004. Vascular plants as indicators of nitrogen enrichment in soils. *Plant Ecol.* 172: 51-62.
- Gladstones, J. 1974. The mediterranean white lupin. Department of Agriculture, Western Australia. *Tech. Bull.* 26: 70-74.
- Graetz, H. A. 1990 (reimp. 2000). Suelos y fertilización. 2a ed. Trillas SEP. México.
- Gross, R. 1982. El cultivo y la utilización del Tarwi *Lupinus mutabilis* Sweet. Estudio FAO: Producción y protección vegetal 36. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia
- Hauser, S. 1992. Estimation of symbiotically fixed nitrogen using extended N difference methods. In: *Biological Nitrogen Fixation and Sustainability of Tropical Agriculture*. John Wiley and Sons. UK, Ibadan, Nigeria. 309-322 pp
- Hernández, M. T., Salcedo P. E., Arévalo G. G. y Galvis S. A. 2007. Evaluación de la concentración de lignina como indicador de la capacidad de aporte de Nitrógeno de residuos orgánicos. *Revista Chapingo series Ciencias Forestales y del Ambiente* 13 (1): 5-13.
- Herrera, V. J. M., Isaac V. M.L., Rodríguez M.R., Zamora N.J. F., Ruiz L. M. A. y García L. P. M. 2010. Conservación del forraje de *Lupinus rotundiflorus* M. E. Jones y *Lupinus exaltatus* Zucc. Mediante ensilaje. *Interciencia*, 35 (8): 592-599.
- Hycka, M. 1965. Veza común, su cultivo y utilización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Estación Experimental de Aula DEI. Zaragoza.
- Jacobsen, S.E y Mujica A. 2006. El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 2006: 458-482.
- Labrador, M.J. 1996. La materia orgánica en los agrosistemas. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Ed. Mundi-Prensa. Madrid España.

- León, O., Silva P. y Acevedo E. 2001. Respuesta a la inoculación en dos especies de lupino (*Lupinus albus* L. y *Lupinus angustifolius* L.). Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta. Facultad de Cs. Agronómicas. Universidad de Chile.
- Lopez-Ballido, L. and Fuentes M. 1986. Lupin crop as an alternative source of protein. *Advances in Agronomy*. 40: 239-295.
- Marticonera, C. y Quezada M. 1985. Flora vascular de Chile. *Gayana Botánica* 42: 1-2.
- Mc Vaugh, R. 1987. Flora novogaliciana. V. Leguminosae. A descriptive account of the vascular plants of Western México. University of Michigan Press. Ann Arbor, MI.
- Mera, K. M., Rouanet M.J., Montenegro B.A. y Pino I.1999. Importancia de contar con una leguminosa en la rotación. Centro Regional de Investigación Carillanca. Temuco Chile.
- NOM-2000, Norma Oficial Mexicana (2000) que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. NOM-021-REC-NAT-2000. Diario Oficial 31 de diciembre de 2002. México.
- Olivares-Pascual, J. 2004. Fijación biológica de nitrógeno. Estación Experimental del Zaidín, CSIC. Granada.
- Óskarsson, H. and Sigurgeirsson A. 2002. Effects of fertilization on tree seedling establishment and growth in a lupin field in southern Iceland. In: proceedings of the 10th International Lupin Conference, Laugarvatn, Iceland. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand.203-205.
- Peña, J. E., Villegas M. A. y Sanchez G. P. 2002. Contenido de N,P,K y rendimiento de frambuesa roja (*Rubus idaeus* L.) "Autumn bliss" orgánico asociada con lupino (*Lupinus mutabilis* Sweet.). *Rev. Peru. Biol* 9(2):84-93.

- Peñalosa, E. 1996. El lupino en los sistemas de producción. Pp 18-26. In: E. Peñalosa y Romero (eds). Serie Carillanca 51.
- Planchuelo, A. 1994. Wild lupin distribution and its implications as germ-plasm resources. En J. Martins y Beirao da Costa (eds). Adv. Lupin Res: 65-69 pp.
- Reeves, T. G., Ellington, A. and Brooke, H. D. 1984. Effects of lupin-wheat rotations on soil fertility, crop disease and crop yields. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry. 24: 455-463.
- Rodas, C. A., Nuñez E. R., Espinoza H. V. y Alcantar G. G. 2001. Asociación lupino-maíz en la nutrición fosfatada en un Andosol. Terra 19: 141-154.
- Rodríguez, C. B., Sevillano F. G. y Subramaniam P. 1984. La fijación de Nitrógeno atmosférico. Una biotecnología en la producción agraria. Temas de divulgación. 1ra edición. Instituto de Recursos Naturales y Agro biología.
- Ruiz, L. M. A., Rodríguez M. R. y Navarro P. S. 2006. Evaluación químico-nutricional de *Lupinus exaltatus* Zucc, del Nevado de Colima, México, como fuente potencial de forraje. Interciencia 31 (10): 758-761.
- Ruiz, M. J. J., Ruiz L. M. M. and Zamora N. J. F. 1999. The genus *lupinus*: taxonomy and distribution in Jalisco, México. In: proceedings of the 9th international lupin Conference. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand. 26-29.
- Schulze, J., Beschow H. and Merbach W. 1999. Nitrogen fixation in blue and White lupin during pod-filling. In: proceedings of the 9th international lupin Conference. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand. 246-248.
- Tapia, E. M. 2000. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Santiago Chile. Consultado el 29 agosto del 2011. URL:

http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro10/cap03_1_3.htm

- Turner, B. 1995. A new species of *lupines* (Fabaceae) from Oaxaca, México: A shrub or tree mostly three to eight meters high. *Phytologia* 79: 102-107 pp.
- Unkovich, M. J., Pate, J.S. and Sanford, P. 1997. Nitrogen fixation by annual legumes in Australian Mediterranean agriculture. *Australian Journal of Agricultural Research*. 48: 267-293.
- Vallejos, E., Silva P. y Acevedo E. 2004. Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de lupino en la zona central. Laboratorio de Relación Suelo-Agua-Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Consultado el 29 de agosto del 2011. URL:http://www.sap.uchile.cl/descargas/publicacion/Evaluaci%C3%B3n_del_Rendimiento_de_Nueve_Genotipos_de_Lupino_en~1.pdf
- Valles-Mora, B., Cadisch G. y Aluja-Schunemann A. 2003. Comparación de metodologías de isótopos para evaluar fijación de N atmosférico y su destino en suelos y plantas. *Agrociencia*37: 117-128.

10. ANEXO

Prueba de comparación de medias en porcentaje de N en hojas por muestreo.

Muestreo	Casos	Media LS %	Sigma LS
3	24	2.80708a	0.0630976
2	24	2.8675a	0.0630976
1	24	2.94667a	0.0630976

Prueba de comparación de medias en porcentaje de N en suelo por muestreo.

Muestreo	Casos	Media LS %	Sigma LS
2	24	0.0391667a	0.00644151
3	24	0.0479167a	0.00644151
1	24	0.0483333a	0.00644151

Prueba de comparación de medias para nitrato por especie (mg/kg).

Especie	Casos	Media LS mg/kg	Sigma LS
<i>L. mutabilis</i>	18	11.425a	2.34891
<i>L. exaltatus</i>	18	12.1283a	2.34891
<i>L. rotundiflorus</i>	18	13.2406a	2.34891
<i>L. albus</i>	18	17.3383a	2.34891

Prueba de comparación de medias para nitrato por suelo (mg/kg).

Suelo	Casos	Media LS mg/kg	Sigma LS
Luvisol	36	11.9964a	1.66093
Regosol	36	15.0697a	1.66093

Prueba de comparación de medias para amonio por especie (mg/kg).

Especie	Casos	Media LS mg/kg	Sigma LS
<i>L. mutabilis</i>	18	16.8989a	4.87478
<i>L. rotundiflorus</i>	18	17.2022a	4.87478
<i>L. exaltatus</i>	18	18.0422a	4.87478
<i>L. albus</i>	18	22.1744a	4.87478

Prueba de comparación de medias para amonio por suelo (mg/kg).

Suelo	Casos	Media LS mg/kg	Sigma LS
Regosol	36	18.4283a	3.44699
Luvisol	36	18.7306a	3.44699