



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CARRERA DE BIÓLOGO

ÁREA DE EDAFOLOGÍA

Efecto nutricional de *Lupinus uncinatus* sobre *Zea mays*, bajo condiciones de campo en una zona de San Pablo Ixayoc, Texcoco. Edo. de México.

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA:

ESPINOSA GONZALEZ JUAN

Director de Tesis

Dr. VICENTE ESPINOSA HERNÁNDEZ

Asesor Interno

M.C. MARÍA DE JESÚS SÁNCHEZ COLÍN



MEXICO, D.F.

2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTO ESPECIAL

M. en C María de Jesús Sánchez Colín

Dr. Vicente Espinosa Hernández

M. en C. J. Luis Miguel Castillo González

Biól. Roberto Cristóbal Guzmán

Biól. Juan Manuel Valderrábano Gómez

Gracias a todos ellos por su tiempo, conocimiento y apoyo brindado para que este trabajo pudiera realizarse.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por darme la oportunidad de pertenecer a ella, y darme las herramientas que me servirán para servirle a mi país.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, que me dio el conocimiento para ser un buen profesionalista y un mejor ser humano.

Al Dr. Vicente Espinosa Hernández por brindarme la oportunidad de ser parte de su grupo de trabajo, ya que sin ello hubiese sido imposible llevar a cabo esta tesis. Agradezco el apoyo brindado en los momentos más difíciles, así como su guía y conocimiento cuando he estado confundido en las vertientes que tiene esta vida.

A la M. en C. María de Jesús Sánchez Colín, por el tiempo, conocimiento y dedicación, así como su amistad y apoyo en este trabajo.

Al M. en C. J. Luis Miguel Castillo González, por brindarme su conocimiento y sus innumerables consejos como amigo que me han ayudado a tener una visión más clara de lo que es ser un buen profesionalista y un mejor ser humano.

Al Biól. Roberto Cristóbal Guzmán por ser uno de mis mejores amigos así como de participar con su conocimiento en este trabajo.

Al Biól. Juan Manuel Valderrábano Gómez por su tiempo y conocimiento que sin duda lograron un mejor trabajo.

Agradezco al Sr. Daniel Sánchez Vivar y Familia por darme la oportunidad de trabajar en su parcela, y por el apoyo brindado durante la siembra, yo se que la información que proporcionó esta investigación les será muy útil a la gente de su comunidad.

A la Universidad Autónoma de Chapingo, y particularmente al laboratorio de física y química de suelos que se encuentra a cargo del Dr. Edmundo Robledo y sus colaboradores por permitir realizar parte de este trabajo, así como contribuir con sus conocimientos.

De la misma forma agradezco al COLPOS y sus trabajadores quienes me apoyaron y me dieron las facilidades para que pudiera cumplir con este trabajo.

A mi gran amigo Ricardo H. Guerrero Ortiz al cual considero como un hermano, gracias por todo tu apoyo, eres un gran ser humano; de igual forma agradezco a Laura Balan y Miriam Hernández quienes forman parte de mi vida y son grandiosos seres humanos.

A mis amigos de la prepa Jacobo, Marco Antonio, Carmelina, Ana Laura, Gonzalo, Fernando, Cuellar, que me han llenado de grandes momentos y felicidad, a todos ellos gracias por su apoyo.

A mis amigos de batalla Héctor y Marco Antonio quienes dios puso en mi camino para que cuidaran de mi, gracias a la familia de cada uno de ellos por abrirme las puertas de sus casas, no tengo como agradecerles todo, los quiero mucho.

A mis nuevos amigos José Rosalío Sánchez y esposa, así como ha Afrodita quienes han aportado un gran conocimiento en mi vida, en mi tienen y tendrán siempre un gran amigo.

A la familia Magos por toda la confianza que han tenido en mi, y por toda la ayuda que me han proporcionado, a cada integrante de esta familia les agradezco mucho y en mi tendrán siempre un gran amigo.

DEDICATORIA

A mis padres Pedro Espinosa Hernández y Alejandra Gonzalez Mejía, lo único que puedo decirles es que estoy inmensamente agradecido con dios por darme la oportunidad de ser su hijo, estoy tan orgulloso de ustedes y siempre lo estaré por que han dado la vida por mí, me han inculcado buenos valores, me han dado su confianza, su amistad, su cariño y amor, me han hecho sentir un hijo especial; gracias por creer en mí y por no perder la fe, el camino ha sido muy duro hemos pasado tantas cosas difíciles y las seguimos enfrentando, les dedico este trabajo con todo mi corazón, en verdad se lo merecen y quiero que sepan han formado un hijo con un criterio sólido, con ganas de salir adelante y sobre todo que luchara por el bien de su familia, ustedes me han dado todo, hemos llegado juntos a la meta, éste trabajo es el termino de una gran etapa pero el inicio de una nueva en nuestra vidas, sigan confiando en mi que yo no les defraudare así como ustedes no lo han hecho, todo lo que he logrado realizar es por la inspiración que tengo de ustedes y créanme lo único que quiero es darles más satisfacciones, es la mejor forma de decirles que los amo..

A mi hermano Edgar Alejandro, tu eres y siempre serás lo mejor de nosotros, eres un pilar muy importante en la familia, siempre serás mi hermanito y este trabajo es para ti por todo lo que hemos vivido y sufrido juntos, en mi memoria siempre estará mi güerito cuando era pequeñito, y aunque estas muy grandote siempre te voy a cuidar, te quiero mucho hermano.

A mi hermana Viridiana personita por la cual sigo adelante, este trabajo es una pequeña muestra de que si quieres puedes, espero te sirva de inspiración para que llegues hacer una gran profesionista, te quiero mucho hermana y siempre te voy a cuidar.

A mi tío Vicente Espinosa eres como un padre para mi, muchos de mis objetivos en la vida los he fijado por ti, eres una persona a la cual admiro y respeto, agradezco toda la

confianza que has depositado en mí, gracias por guiarme porque a pesar de no ser tu hijo me has tratado como si lo fuera y eso nunca te lo podré agradecer, si logre dar este paso tan importante es por tu inmensa ayuda, creo mucho en tu filosofía sobre la vida, todos tus consejos los tengo bien presentes, nunca dejare sola a mi familia, así como tú no lo haces con todos nosotros. Te quiero mucho.

A mi abuelito Juan Espinosa quien contribuyo en mi educación desde muy pequeño, este trabajo es resultado de tu cariño y gran amistad, gracias por todos tus consejos y apoyarme cuando más lo necesite.

A la familia Gonzalez que siempre ha estado conmigo, a cada integrante le reitero mi respeto y cariño, siempre estarán en mi corazón.

A María Itzel Galicia Magos, quien ha estado en los momentos más difíciles de esta etapa, gracias por todos los momentos buenos y malos que me han hecho aprender más en esta vida, ya eres parte de mi vida y quiero que lo sigas siendo, dios te puso en mi camino como un angelito que cuida de mí, TE AMO mucho mi amor y estoy eternamente agradecido con la vida por ser parte de la tuya.

INDICE

Contenido

	Página
Resumen.....	1
I. Introducción.....	2
II. Antecedentes.....	5
III. Revisión de Literatura.....	10
3.1 Importancia del nitrógeno en las plantas.....	10
3.2 Síntomas de deficiencia en la planta por nitrógeno.....	11
3.3 Importancia del fósforo en las plantas.....	11
3.4 Relación entre nitrógeno y fósforo.....	13
3.5 Generalidades del Maíz.....	14
3.6 Generalidades de las leguminosas.....	16
3.6.1 Nodulación de las leguminosas.....	18
3.7 Características generales de <i>Lupinus</i>	20
3.7.1 Descripción Botánica.....	22
IV. Planteamiento del problema.....	28
4.1 Justificación.....	29
4.2 Hipótesis.....	30

4.3 Objetivos.....	31
V. Localización y descripción del área de estudio.....	32
VI. Materiales y Métodos.....	35
VII. Análisis y discusión de resultados.....	41
VIII. Conclusiones.....	62
IX. Anexos.....	63
X. Bibliografía.....	69

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Contenido de fósforo en diferentes cultivos.....	13
Cuadro 2. Procedimientos analíticos para el análisis de suelos	39
Cuadro 3. Procedimientos analíticos para el análisis de plantas.....	40
Cuadro 4. Densidad de plantas de monocultivo y asociación.....	43
Cuadro 5. Rango de contenido de nutrientes en el tejido foliar de <i>Zea mays</i>	52

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. pH del suelo.....	45
Gráfica 2. Conductividad eléctrica.....	46

Gráfica 3. % Materia orgánica.....	47
Gráfica 4. % de nitrógeno en el suelo.....	49
Gráfica 5. Fósforo en el suelo.....	51
Gráfica 6. % de nitrógeno en tejido vegetal.....	53
Gráfica 7. Nitrógeno en raíz en asociación y monocultivo.....	54
Gráfica 8. Fósforo en tejido vegetal.....	55
Gráfica 9. Fósforo en raíz para monocultivo y asociación.....	56
Gráfica 10. Peso Tejido vegetal en asociación y monocultivo.....	57
Gráfica 11. Peso de raíz en asociación y monocultivo.....	57

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en el cerro del Tlálloc.....	32
Figura 2. Perfil fisonómico fisiográfico de las comunidades vegetales presente en la Sierra Nevada del Tlálloc. Sánchez y López (2003).....	34
Figura 3. Representación de la parcela y del cuadrante de estudio.....	35
Figura 4. Muestreo en zigzag.....	36
Figura 5 <i>Lupinus uncinatus</i>	38
Figura 6 y 7 Asociación de <i>Lupinus</i> con maíz.....	41
Figura 8 Parcela donde se desarrollo la asociación.....	42
Figura 9 Cultivo en condiciones de campo.....	60



RESUMEN

El presente trabajo tiene el objetivo de mostrar el beneficio de la asociación de *Lupinus uncinatus* con *Zea mays* en comparación a monocultivo bajo condiciones de campo en los Ejidos de San Pablo Ixayoc, Volcán del Tláloc, perteneciente al municipio de Texcoco. Edo. México. Se eligió una parcela de una hectárea y dentro ésta se estableció un cuadrante de 10 X 10 m, dentro del cual se obtuvo una densidad de 177 plantas de maíz en 13 surcos, donde crecieron 34 plantas de *Lupinus* y de éstas, 20 crecieron en asociación con el maíz. Se seleccionaron al azar 10 plantas de maíz en monocultivo y 10 en asociación, se realizaron análisis de fósforo y nitrógeno. Los resultados para asociación con la leguminosa fueron significativamente mayores tanto en las condiciones del sustrato como en la biomasa vegetal.



I. INTRODUCCIÓN

La práctica de asociar cultivos es una vieja estrategia de producción agrícola, usada ampliamente aunque no en forma exclusiva, en los países tropicales. La técnica se basa en el crecimiento de dos o más especies sobre una unidad de terreno, ocurriendo una superposición total o parcial de sus ciclos, de manera que a la competencia intraespecífica propia de los monocultivos, se agrega la competencia entre las especies componentes de la asociación (Navas y Marín, 1995).

Altieri (1990) señala que los cultivos asociados forman parte de una estrategia tendente al logro de una agricultura sostenible por sus ventajas conservacionistas y porque en su implementación intervienen principios ecológicos que funcionan en ecosistemas naturales estables, aún cuando la identificación de los factores operativos en cada situación particular, apenas empieza a lograrse.

Los policultivos son sistemas en que dos o más cultivos se establecen simultáneamente y lo suficientemente juntos para que se produzca competencia interespecífica o complementariedad (Vandermeer, 1995). Estas interacciones pueden tener efectos inhibidores o estimulantes en la producción. En el diseño y manejo de estos sistemas, una de las estrategias es reducir al mínimo la competencia y obtener la máxima complementariedad de las especies en la mezcla. Los sistemas de policultivos constituyen sistemas que hacen un uso eficiente de factores físicos y biológicos (crecimiento, luz, agua, nutrientes, del espacio y el tiempo disponible) para intensificar la producción agrícola y proteger el medio ambiente (equilibrio ecológico), con esta práctica se promueve la conservación del suelo al aumentar la materia orgánica y así se aprovechan los recursos disponibles en la región, parcela o predio.

Una de las principales razones por la cual los agricultores a nivel mundial se decidieron por sembrar policultivos, es porque se obtiene un mayor rendimiento en



comparación con monocultivo (Liebman, 1997) y para la disminución de la población de las plagas de insectos y la supresión de arvenses por el sombreado de los follajes complejos por efectos alelopáticos (Gliessman y Amador, 1980).

En los trópicos, los policultivos son un componente importante de la agricultura y una de las razones para adoptar dichos patrones de cultivo puede ser, además de la disminución de riesgos, la reducción de incidencia de plagas e insectos.

En la agricultura de climas templados, los policultivos pueden proporcionar también potencialidad para mejorar de la productividad de cultivos, de hecho estos sistemas están tan extendidos que las estimaciones cuantitativas sugieren que el 98% de frijol caupí en África y el 90% de frijol en Colombia se siembran en cultivos intercalados (Altieri, 2007).

El principal propósito perseguido por la siembra asociada de leguminosas con cereales es aumentar los rendimientos de grano y a la vez elevar la fertilidad del suelo en los sistemas de producción agrícola en las zonas de trópico semiárido (Willey, 1979).

Riverol (1997) y sus colaboradores evaluaron el efecto de las asociaciones de maíz-leguminosas sobre la conservación de la fertilidad del suelo y su impacto, como cultivos precedentes, sobre el rendimiento del frijol. Se utilizaron 5 leguminosas en asociación y el monocultivo para realizar la comparación. Los resultados señalaron que las asociaciones de maíz con leguminosas beneficiaron las propiedades del suelo evaluadas. El impacto de estas coberturas como precedente del cultivo de frijol fue significativo sobre su rendimiento con respecto al maíz solo.



Las combinaciones de maíz-leguminosas generalmente sobrepasan en rendimiento a los monocultivos de maíz; en otras palabras, se necesita de más superficie bajo monocultivo de maíz para producir el mismo rendimiento que una hectárea de policultivo (Mead y Willey, 1980; Vandermeer, 1989).

Por estas razones, se realizó esta investigación bajo condiciones de campo, aprovechando que la leguminosa llamada *Lupinus*, crece en forma espontánea en los cultivos de maíz de la zona montañosa del oriente del Estado de México.



II. ANTECEDENTES

Las especies del género *Lupinus* son leguminosas que se encuentran distribuidas en muchas partes del mundo, aunque su origen es incierto, algunos autores sugieren diferentes centros. Ruiz *et al.*, (2006) y Walker *et al.*, (2003) opinan que su origen es de Sudamérica. Los reportes para México indican que muchas especies de *Lupinus* están localizadas en la región central, en el Eje Neovolcánico que funge como intersección con la Sierra Madre Oriental y Occidental.

Alderete (2008) realizó una descripción general de 7 especies de *Lupinus* (*Lupinus* sp¹, *Lupinus* sp², *L. leptophyllus*, *L. montanus*, *L. potosinus*, *L. uncinatus*, *L. versicolor*), en la parte oriental del volcán de Tláloc en la Sierra Nevada, México. Cada una de las especies se encontró en diversas condiciones ecológicas entre los 2800 y 3700 msnm, con pH de los suelos entre 6 y 7, el valor más alto para fósforo lo tiene *L. uncinatus* con 14.7 mg kg⁻¹ y el más bajo *L. montanus* con 4.82 mg kg⁻¹. Para nitrógeno el valor máximo se encuentra en *L. montanus* y el mínimo en *L. uncinatus*. En estudios previos del género en el área, solo se reportan 3 especies, *Lupinus uncinatus* (Ehsan, 2007), *Lupinus campestris* y *Lupinus montanus* (Sánchez-González y López-Mata, 2006).

Debido a los pocos estudios que hay en relación a las plantas de *Lupinus*, se ha despertado un interés por analizar los efectos que tiene esta sobre la rizosfera; Alderete (2009) exploró la capacidad de dos especies de *Lupinus* (*leptophyllus* y *montanus*) en la concentración de C, N, P y K disponibles en el suelo a través del tiempo. Para las dos especies hubo un aumento en el porcentaje de nitrógeno y fósforo a 120 días y para potasio en 80 días.



Barrrientos *et al.*, (2002) comparó la cantidad de nitrógeno fijado por *L. albus* y *L. angustifolius* y su distribución en distintos órganos de la planta durante diferentes períodos en su ciclo de crecimiento. En un andosol de la serie Vilcun se desarrolló un experimento de campo en el Centro Regional de Investigación Carillanca, para la cual se utilizó la técnica de la disolución isotópica de ^{15}N . Se realizaron tratamientos donde se compara a *L. albus* cv. Lolita y *L. angustifolius* cv. Gungurru y avena sativa cv Nehuen como cultivo de referencia, en un diseño de bloques completamente al azar con cuatro repeticiones. Se utilizaron $10 \text{ kg de } ^{15}\text{N ha}^{-1}$ con 9.4 % átomos en exceso, aplicados en forma de sulfato de amonio en las microparcels con *lupinus* y en aquellas con el cultivo de referencia. En la primera evaluación (45 días después de la siembra) se determinó que *L. albus* cv. Lolita fijó $39 \text{ kg de N ha}^{-1}$ y que *L. angustifolius* cv. Gungurru fijó $39 \text{ kg de N ha}^{-1}$ equivalente a 69 y 49% de N derivado del aire respectivamente. En la segunda evaluación (80 DDS) *L. albus* cv. Lolita fijó $282 \text{ kg de N ha}^{-1}$ y *L. angustifolius* cv. Gungurru fijó $197 \text{ kg de N ha}^{-1}$, lo que equivale a 95% y 91% de N derivado del aire, respectivamente. A la cosecha (160 DDS), el contenido de proteína promedio del grano de *L. albus* fue 38%, en tanto que *L. angustifolius* fue de 23. Esto demostró que a *L. albus* cv. Lolita y *L. angustifolius* cv. Gungurru tienen la capacidad de fijar elevadas cantidades de nitrógeno en un andisol Vilcun. Se han realizado trabajos con asociaciones de especies donde se puede notar que este proceso es importante y sigue siendo una alternativa para aumentar la producción de alimento.

Gardner y Boundy (1983) concluyeron que al intercalar trigo con *Lupinus albus* ocurrían dentro del suelo interacciones significativas entre dichas especies, las que daban como resultado que el trigo tuviera acceso a una mayor cantidad de P, Mn y N, en comparación con el trigo en monocultivo.

Se ha demostrado que el uso de ciertas leguminosas en rotación con el maíz (*Zea mays*) en las regiones cálidas húmedas de México mejora significativamente su productividad. La estabilidad de este sistema se atribuye entre otras razones, al abundante



aporte de materia orgánica y de nitrógeno fijado a través de la simbiosis bacteriana con la raíz de las leguminosas; a la mejor nutrición del maíz por la rápida colonización de sus raíces con las micorrizas y por la reducción en la incidencia y daños a las raíces por patógenos del suelo. Al parecer la rotación de leguminosas hace posible que el productor eleve y mantenga los altos rendimientos, logrando su permanencia en las mismas áreas de cultivo (García *et al.*, 1994).

Una práctica para evitar la degradación de los suelos e incrementar los rendimientos de biomasa en algunos cultivos (*Zea mays*) es el uso de leguminosas como cobertura. Reportes en México muestran que al comparar un suelo sin cobertura con un suelo con cobertura durante nueve años se obtienen incrementos en biomasa de 1.7 t ha^{-1} y 6.4 t ha^{-1} respectivamente. Mientras el rendimiento de maíz bajo condiciones de suelo cubierto y no cubierto produce 2.16 kg ha^{-1} y 4.4 kg ha^{-1} respectivamente (Pool *et al.*, 1998). Esta actividad encamina a una agricultura de restauración de suelos degradados, conservación del agua, secuestro de carbono y conservación de la biodiversidad (Urbano y Dávila, 2005). En Kenya se reportan incrementos en los rendimientos del cultivo de maíz con la incorporación al suelo de la biomasa de leguminosas y su integración en cultivos de relevo, asociación con gramíneas y cobertura, por lo que estas prácticas promueven menos uso de fertilizantes (Mburu, 2003).

Las combinaciones de maíz-leguminosas generalmente sobrepasan en rendimiento a los monocultivos de maíz; en otras palabras, se necesita de más superficie bajo monocultivo de maíz, para producir el mismo rendimiento que una hectárea de policultivo (Mead y Willey, 1980; Vandermeer, 1989).

Rodas (2000) realizó un trabajo con una asociación de *Lupinus mutabilis* y *Zea mays* sobre la eficiencia agronómica de la roca fosfórica (RF) de baja calificación. El trabajo se hizo utilizando un andosol de la meseta Tarasca de Michoacán, dentro del diseño se consideraron cuatro factores; el primero fue el de las fuentes de fósforo que se emplearían, las cuales fueron: superfosfato triple (SF), roca fosfórica (RF), y una mezcla de ambas



fuentes en proporciones de 50%. El segundo fue la dosis del fósforo, que fueron de 150, 300 y 450 kg de PO_2O_5 ha^{-1} . El tercero fue la forma de aplicación, y se manejaron dos tipos, el incorporado (mezclado con todo el suelo) y localizado (abajo y a un lado de las semillas). Y por último el sistema de cultivo que era monocultivo de maíz, asociación de maíz con *L. mutabilis* y monocultivo de *L. mutabilis*. El resultado de este estudio, fue que la materia seca, contenido de fósforo y contenido de nitrógeno fueron mayores en el maíz asociado con *Lupinus*, sin embargo fue inferior al superfosfato triple y a la mezcla de SFT+ RF.

Los andosoles se localizan a lo largo de todo el eje volcánico (Etchevers, 1985) y en ellos se encuentran entre el 5 y el 20% de la superficie total nacional cultivada (Ortiz, 1981)

Balan (2009), realizó un trabajo de asociación de *Lupinus montanus* y *Zea mays* en las parcelas de los ejidos de Tláhuac, mejor conocidos como humedales de Tláhuac, esto para evaluar el efecto nutricional de la leguminosa sobre el tejido vegetal del maíz, así como en algunos parámetros químicos del suelo destacando el fósforo y el nitrógeno. Se llevo a cabo una simulación en campo de la metodología de series de remplazamiento de De Wit, y de esta manera se pudiera montar un diseño completamente al azar, donde se tuvo un densidad de 27 plantas de maíz y 27 plantas de *Lupinus*, el porcentaje de sobrevivencia fue de 55.55% y los resultados arrojados después de los análisis tuvieron diferencias significativas a excepción del pH, el cual tuvo cambios mínimos; pero con respecto al suelo y al tejido vegetal los valores de fósforo y nitrógeno si lo fueron en asociación; en el suelo se registro un incremento de 0.236 mg kg^{-1} , la concentración de P en grano de maíz en asociación tuvo un promedio de 2.067 mg kg^{-1} en comparación del monocultivo de 1.833 mg kg^{-1} . En general la asociación demostró tener diferencias significativas.

Existen otros trabajos de asociación de leguminosas con gramíneas; Quiroz (2003), determino el rendimiento en grano de maíz y la eficiencia de una asociación maíz y quinchoncho; el trabajo se realizó en el campo experimental del Instituto Nacional de Investigaciones agrícolas (INIA), en Venezuela, en una zona donde se práctica agricultura sobre riego, se estableció un experimento aditivo con $62,500 \text{ plantas ha}^{-1}$ del cereal y 50,



000 p ha⁻¹ de la leguminosa, con siembra escalonada y dos niveles de fertilización. El maíz no fue afectado por la competencia con la leguminosa a pesar del retardo de 20 días en su siembra y produjo 6938 y 7665 kg ha⁻¹ en parcelas de monocultivo no fertilizadas y fertilizadas, respectivamente, mientras que en las asociadas los valores fueron 7030 y 7507 kg ha⁻¹; no hubo diferencias significativas en el rendimiento de la leguminosa asociada, aunque el ciclo de esta se prolongo durante 18 días. El quinchoncho rindió 3437 y 3464 kg ha⁻¹ en monocultivo fertilizado y fertilizado, respectivamente, en tanto que en las parcelas asociadas los valores fueron 3064 y 3277 kg ha⁻¹. No se registro efecto significativo por la aplicación de fertilizante. El trabajo realizado evidencio ventajas significativas de las parcelas asociadas respecto a los monocultivos de referencia.



III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Importancia del nitrógeno en las plantas

De acuerdo con Ortega (1978) es esencial para el crecimiento de la planta ya que forma parte de cada célula viviente. Las plantas requieren de grandes cantidades de N para crecer normalmente.

Las plantas absorben la mayoría del N en forma de iones amonio (NH_4^+) o nitrato (NO_3^-). Algo de urea se absorbe directamente por las hojas y pequeñas cantidades de N se obtienen de materiales como aminoácidos solubles en agua. Con excepción del arroz, los cultivos agrícolas absorben la mayoría del N como ión NO_3^- . Sin embargo estudios recientes han demostrado que los cultivos usan cantidades apreciables de NH_4^+ , si este está presente en el suelo. Ciertos híbridos de maíz tienen un alto requerimiento de NH_4^+ y la absorción de esta forma de N ayuda a incrementar el rendimiento de grano.

Una de las razones por las cuales se obtienen rendimientos más altos con la absorción de una parte del nitrógeno como NH_4^+ , es que la reducción de NO_3^- dentro de la planta requiere de energía (el NO_3^- es reducido a NH_4^+ que luego se convierte en aminoácidos dentro de la planta). Esta energía es proporcionada por carbohidratos, los mismos que podrían ser usados para el crecimiento o para la formación del grano.

El nitrógeno es necesario para la síntesis de clorofila y como parte de la molécula de clorofila está involucrado en el proceso de la fotosíntesis. La carencia de N y en consecuencia la carencia de clorofila no permite que la planta utilice la luz como fuente de energía en el proceso de la fotosíntesis y la planta pierde la habilidad de ejecutar funciones esenciales como la absorción de nutrientes. El N es un componente de las vitaminas y los sistemas de energía en la planta. Es también un componente esencial de los aminoácidos,



los cuales forman proteínas; por lo tanto, el N es directamente responsable del incremento del contenido de proteínas en las plantas.

3.2 Síntomas de deficiencia en la planta por nitrógeno

Cantidades adecuadas de N producen hojas de color verde oscuro, debido a que estas tienen una alta concentración de clorofila. La deficiencia de N resulta en clorosis (amarillamiento) de las hojas debido a presencia de cantidades reducidas de clorofila. Este amarillamiento se inicia en las hojas más viejas y luego se traslada a las hojas más jóvenes, a medida que la deficiencia se torna más severa.

El pigmento verde de la clorofila absorbe la energía de la luz necesaria para iniciar la fotosíntesis. La clorofila ayuda a convertir el carbono, el hidrógeno, y el oxígeno en azúcares simples. Estos azúcares y los productos de su transformación son usados para el crecimiento y desarrollo de la planta.

Plantas pequeñas y crecimiento lento también son síntomas de deficiencia de N. Los cereales de grano pequeño y otras gramíneas macollan menos cuando el suplemento de N es ilimitado.

Cuando el N es insuficiente, las semillas y las partes vegetativas de la planta tienen bajo contenido de proteínas. Las plantas deficientes generalmente tienen menos hojas.

El maíz fertilizado adecuadamente con N tendrá un contenido menor de humedad en el grano a la cosecha que aquel maíz con insuficiente cantidad de nitrógeno (Ortega, 1978).

3.3 Importancia del fósforo en las plantas

Es esencial para el crecimiento de las plantas. No puede ser sustituido por ningún otro nutriente. La planta debe tener P para cumplir su ciclo normal de producción.



La gran importancia que tiene el conocimiento de la química del fósforo en los suelos se origina por el hecho del papel tan decisivo que desempeña este nutrimento en el crecimiento de las plantas (Ortega 1978).

Las plantas absorben la mayoría del P como ion ortofosfato primario (H_2PO_4^-). Las plantas también absorben pequeñas cantidades de P como ión ortofosfato secundario (HPO_4^-). El pH del suelo influye en gran parte en la absorción de estas dos formas de P por la planta. Las plantas pueden utilizar otras formas de P, pero en menores cantidades que el ortofosfato. Las concentraciones más altas de P en plantas jóvenes se encuentran en el tejido de los puntos de crecimiento. Debido a que el P se mueve rápidamente de los tejidos viejos a los tejidos jóvenes, las deficiencias aparecen primero en las partes bajas de la planta. A medida que las plantas maduran, la mayor parte del P se mueve a las semillas o al fruto.

El P desempeña un papel muy importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transferencia de energía, la división y el crecimiento celular y otros procesos que se llevan a cabo en la planta (IPF, 1997).

Además, promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces. El P mejora la calidad de la fruta, hortalizas y granos y es además vital para la formación de la semilla. El P está involucrado en la transferencia de características hereditarias de una generación a la siguiente.

El cuadro 1 muestra que el contenido de P en las semillas es más alto que en cualquier otra parte de la planta (IPF, 1997).



Cuadro 1. Contenido de fósforo en diferentes cultivos

Cultivos	Parte de la planta	Rendimiento t ha⁻¹	P (%)
Maíz	Grano	9.4	0.22
	Tallos y hojas	8.4	0.17
Algodón	Semillas	2.2	0.66
	Tallos y hojas	2.8	0.24
Maní	Grano	4.5	0.20
	Tallos y hojas	7.2	0.26
Arroz	Grano	6.7	0.28
	Paja	7.8	0.09
Soya	Grano	3.4	0.42
	Paja	7.8	0.18
Trigo	Grano	4.0	0.42
	Paja	6.1	0.12

El P ayuda a las raíces y a las plántulas a desarrollarse rápidamente y mejora su resistencia a las bajas temperaturas. Además incrementa la eficiencia del uso del agua, contribuye a la resistencia de algunas plantas a enfermedades y adelanta la madurez, es importante para rendimientos más altos y calidad de los cultivos (IPF, 1997).

3.4 Relación entre nitrógeno y fósforo

El crecimiento inicial de la planta debe ser vigoroso y rápido para que la planta se establezca bien antes de que se inicien los rigores del verano, periodos de sequía, presión de insectos, malezas etc.



El P es vital para el crecimiento de la planta y el N influye favorablemente en la absorción de P.

El P es más disponible para la planta cuando se aplica con N que cuando se aplica sin este nutriente.

La influencia de N sobre la absorción de P es muy clara durante el crecimiento inicial. En algunos casos, hasta el 65% del P en la planta proviene del fertilizante fosfórico aplicado temprano en el ciclo del cultivo.

El amonio NH_4^+ afecta significativamente la disponibilidad y absorción de P. El NH_4^+ en altas concentraciones reduce las reacciones de fijación de P. De igual manera, la absorción de NH_4^+ ayuda a mantener una condición ácida en la superficie de la raíz, mejorando de esta forma la absorción de P (Marschner, 1995).

3.5 Generalidades del Maíz

Las Gramíneas son una extensa familia de plantas con flor, y son importantes desde el punto de vista económico y ecológico. La familia Poaceae contiene unos 635 géneros y 9,000 especies, y es la cuarta más extensa después de la Leguminosae, Orquidáceae y Asteraceae. La familia de las gramíneas no solo es importante por la gran variedad de especies que posee, sino por la competencia y complementariedad que representa para los cultivos, así como por el potencial que pudiera encontrarse para ofrecer alternativas a problemas, tales como el control fitosanitario, diversificación en el uso de la tierra, conservar y/o mejorar el suelo. Las gramíneas son las plantas con flor de más amplia distribución del mundo; ocupan desde zonas situadas muy por encima del círculo polar ártico hasta la antártica, pasando por las regiones templadas y los trópicos (citado en Balan, 2009).



Maíz

El maíz (*Zea mays L.*) pertenece a la familia de las gramíneas, tribus de las maideas. Es la única especie del género *Zea*. Se trata de una planta anual de gran desarrollo vegetativo (puede alcanzar 4 m de altura).

Raíz

El sistema radicular de tipo fasciculado está formado por tres tipos de raíces: las raíces seminales (nacidas de la semilla), las raíces secundarias (que constituyen la casi totalidad del sistema radicular), y las raíces adventicias que aparecen en el último lugar, a nivel de los primeros nudos situados por encima de la superficie del suelo (Fleury, 1979).

Tallo

El tallo es una caña formada por nudos y entre nudos macizos de longitud variable, gruesos en la base y de menor grosor entre nudos superiores. Potencialmente un tallo puede desarrollar 10 o más yemas florales que pueden originar 10 o más mazorcas; únicamente una, dos o tres yemas llegan a formar grano de maíz por el fenómeno conocido como dominancia apical que inhibe el desarrollo de las yemas inferiores (Reyes, 1990).

La altura del tallo es variable y es característica varietal, genética y ambiental en el rango varia de 0.30 metros a 5.5 metros y su altura es el resultado del número y longitud entre nudos (Reyes, 1990).

Hojas

Las partes de una hoja: vaina que envuelve el entre nudo y cubre a la yema floral, lamina o limbo de tamaño variable en largo y ancho, como una nervadura central bien



definida, el haz o parte superior con pequeñas vellosidades, el envés o parte inferior lisa sin vellosidades; la lígula protege al entre nudo y drenan el agua que al llover se desliza sobre el limbo y la nervadura central (González, 1995).

Las hojas nacen en los nudos en la parte inferior inmediata a las yemas florales femeninas. Cuando la planta se cultiva en condiciones normales, tiene color verde.

Los estudios de foliación sugieren que las hojas superiores y medias (o inmediatas a la mazorca) de una planta de maíz son los principales contribuyentes de carbohidratos de la mazorca y que las hojas inferiores contribuyen relativamente poco (González, 1995).

Fruto

La semilla se conoce comúnmente como grano de maíz. Biológicamente el fruto es el ovario desarrollado y la semilla es el óvulo fecundado, desarrollado y maduro. En el maíz y en las gramíneas, como el ovario se desarrolla al igual que el óvulo, hasta tener una sola estructura. El fruto se encuentra insertado en el raquis u olote construyendo hileras de grano o carreras cuyo conjunto forman la mazorca, espiga cilíndrica o infrutescencia, producto del desarrollo de la yema floral axilar de la hoja que nace en el nudo (Reyes, 1990).

3.6 Generalidades de las Leguminosas

Las leguminosas se encuentran ampliamente distribuidas en todo el mundo y juegan un papel preponderante en la agricultura y en la fertilidad de los suelos (Argel, 1996). Se utilizan para consumo humano, cultivos de cobertura y como forraje. Su habilidad para fijar N y su alta concentración de proteína bruta (PB) y minerales, las hacen indispensables en la mayor parte de las praderas. Su adaptación es muy amplia en lo que a clima y suelos se refiere, por lo que, es posible encontrar leguminosas forrajeras en casi todas las



formaciones ecológicas existentes, ya sea en asociaciones con gramíneas, bancos de proteína, o cultivos en franjas (Becerra, 1986; Hare *et al.*, 2004).

La familia *Leguminosae* comprenden alrededor de 650 géneros y 18,000 especies (Polhill, 1981); esta es una de las seis familias de angiospermas más diversas que existen (Sosa y Dávila, 1994). En México después de las compuestas, las leguminosas constituyen la segunda familia más grande de plantas fanerógamas (Sousa y Delgado, 1998). Los estados más ricos en especies de esta familia, en nuestro país, son Oaxaca y Chiapas (Sousa, 1986).

Muchos de los miembros de esta familia desarrollan en sus raíces estructuras conocidas como “nódulos” en las cuales habitan bacterias aerobias del género *Rhizobium*, capaces de tomar nitrógeno del aire y elaborar compuestos nitrogenados útiles para la propia bacteria y la planta hospedera, los que al incorporarse en el suelo benefician también a otras plantas. Esta cualidad se aprovecha en programas de mejora de suelos, como es el sistema de rotación de cultivos, siembra alternada de plantas muy demandantes de compuestos nitrogenados, como los cereales, seguida de la de leguminosas, que al crecer nitrifican el terreno y aumenta el rendimiento de las cosechas. Además las leguminosas llegan a producir sustancias tóxicas, que evitan plagas (Sousa, 1986).

Por su amplia adaptabilidad en lo que al clima y suelo se refiere, es posible encontrarlas en casi todas las formaciones ecológicas existentes (Eusse, 1994). Las leguminosas son utilizadas para consumo humano, como abono verde, como cultivos de cobertura y como productoras de forraje (Eusse, 1994). Son excelentes fuentes de proteína y minerales para rumiantes en pastoreo (Ríos and Pitman, 2001; Eusse, 1994; Humphreys, 1991).

En los trópicos, las especies forrajeras leguminosas, por su contenido de proteína (15-30% en base seca), representan el recurso forrajero con mayor potencial para aumentar la producción animal (Skerman et al., 1991; Smith y Van Houthen 1987). La solubilidad y la digestibilidad de su proteína las hacen atractivas como fuente de alimento suplementario



(Humphreys, 1991; Minson, 1991). Sin embargo, existen limitantes en su uso entre las que se encuentran factores ecológicos, lento establecimiento en algunas especies y presencia de factores antinutricionales o metabolitos tóxicos. Por lo tanto, en muchos casos su utilización, como único alimento o como un alto porcentaje de la dieta no es lo indicado (Ríos and Pitman, 2001; Humphreys, 1991).

3.6.1 Nodulación en las leguminosas

López (1995), menciona 5 etapas para que se lleve a cabo la infección y desarrollo de los nódulos radiculares:

- 1.- Reconocimiento de la combinación adecuada, tanto por parte de la planta como de la bacteria, y adherencia de la bacteria a los pelos radiculares.
- 2.- Invasión del pelo radicular y formación de un canal (o hilo) de infección.
- 3.- Desplazamiento de las bacterias hacia la raíz principal a través del canal de la infección.
- 4.- Diferenciación de las bacterias en un nuevo tipo al que se le llama bacteriodes, dentro de las células de las plantas, y desarrollo del estado de fijación de nitrógeno.
- 5.- Proceso continuo de división de las células bacterianas y vegetales y formación del nódulo radicular maduro.

Las leguminosas secretan compuestos que atraen a los rizobios, dentro de los compuestos se encuentran flavonoides, y como respuesta a esto se da una activación de genes que se encuentran involucrados en la nodulación. El primer paso en la formación de nódulos es la adherencia de la bacteria a la planta, y se da por medio de una proteína que se localiza en la superficie del rizobio, es una proteína que se une al calcio y que puede actuar captando complejos de calcio en la superficie de los pelos radiculares.



Existen otras sustancias, como las lectinas, que son proteínas que contienen carbohidratos, y que ayudan a la adherencia de la bacteria a la planta, esta proteína ha sido encontrada en los extremos de pelos radiculares y en la superficie de las células del rizobio.

Una vez que se da la unión, los pelos radiculares se enroscan debido a la acción de sustancias específicas secretadas por la bacteria que se conocen como factores Nod. Algunos pelos radiculares se enroscan hasta 360° formando una estructura llamada “cayado de pastor”.

La bacteria penetra en el pelo radicular que induce la formación en la planta de un tubo de composición similar al de la pared celular, conocido como canal de infección que avanza por el pelo radicular, posteriormente la infección alcanza a las células de la raíz adyacentes a los pelos radiculares, y entran en función los factores Nod que estimulan la división de las células vegetales, produciendo finalmente el nódulo.

Las bacterias son liberadas desde el canal de infección al citoplasma de las células vegetales por un mecanismo similar al de endocitosis. Los rizobios quedan separados del citoplasma por una membrana derivada de la planta hospedadora y que se llama la membrana peribacteroidal (MPB).

A continuación hay una división continua y sincronizada de los rizobios rodeados de MPBs. Al cesar la división las bacterias se transforman en unas formaciones ramificadas, hinchadas y deformes, llamadas bacteroides. Estos quedan rodeados, individualmente o en pequeños grupos por la MPB. A estos grupos de bacteroides rodeados por la MPB se les llama simbiosomas. Los bacteroides pueden llegar a ser hasta 40 veces más grandes que los bacilos a partir de los que se desarrollan, y hasta varios miles se encuentran en una sola célula vegetal. La fijación de nitrógeno no se inicia sino hasta que se han formado los bacteroides. El sistema vascular de la planta se extiende dentro del nódulo y transporta nutrientes hacia y desde el nódulo.



Cuando el nódulo se deteriora las bacterias pasan al suelo. Las formas bacteroidales no tienen capacidad de división, pero los nódulos contienen siempre algunos rizobios en estado de latencia. Estas formas proliferan en el suelo utilizando como nutrientes algunos de los productos del nódulo destruido y las bacterias pueden iniciar la infección en otras raíces o mantenerse en estado libre en el suelo (López, 1995).

3.7 Características generales de *Lupinus*

El *Lupinus* o altramuz es una planta nueva y antigua a la vez. Nueva por el interés en el cultivo de variedades mejoradas; y antigua, porque ya se tienen conocimiento de su cultivo en suelos pobres desde hace 2000 años, empleándolo a su vez para la mejora de los suelos y abonado verde.

Así como el *Lupinus albus* se cultiva hace ya muchos años en Europa, otras especies han sido cultivadas durante varios siglos en las cordilleras andinas de América del Sur siendo la base de alimentación proteica de las poblaciones indígenas (Mujica, 1990).

Varias especies de *Lupinus* pueden desarrollar cosechas que son utilizadas por los humanos; debido a que alrededor de *Lupinus* hay principalmente una mayor cantidad de proteínas en sus semillas que son usadas en la alimentación de animales y humanos; sin embargo el grado requiere de un tratamiento previo para su consumo siendo necesario eliminar las sustancias antinutricionales que contiene y que le permite a la planta disponer de defensas naturales contra el ataque de los insectos. Estas sustancias son alcaloides formados por esparteína, lupinina, lupanidina, entre los principales, los cuales actualmente son utilizados para controlar garrapatas y parásitos gastrointestinales (Citado en Balam, 2009).

En Nueva Zelanda y en Sudamérica, el género se ha empleado como fijador de nitrógeno (N), en la fertilización de plantaciones forestales (Shepherd, 1986), así como en la producción melífera (Acosta y Rodríguez, 2005). Debido a su rápido crecimiento, sirve de protección a los árboles pequeños ante la acción del viento y animales; durante los dos



primeros años las superficies aprovechadas forestalmente pueden ser usadas agrícolamente por este género, mejorando su rentabilidad (Gross, 1982). Asimismo, *Pinus hartwegii* plantados con *Lupinus montanus* como nodrizas, exhibieron elevados niveles de P y K a un año de su plantación, en comparación con los árboles que no tuvieron nodrizas.

El género *Lupinus* se encuentra distribuido en México en los estados de Colima, Chihuahua, Df, Edo.de México, Sonora y Tlaxcala; algunas de las especies que vegetan son *Lupinus bilineatus* Benth, *L. ehrenbergii* Sch., *L. elegans* H. B. K., *L. hartwegii* Lind., *L. leptocarpus* Rose, *L. campestris* Cham. Et Schlt., *L. geophyllus* Rose, *L.giganteus* Rose, *L. pringlei* Rose, etc (Citado en Galindo, 1996):

En el valle de México se han observado las siguientes especies (Citado en Galindo, 1996):

L. elegans H.B.K. en San Rafael, a 2000 m, y en Sultepec, a 2400.

L. splendens Rose. En Valle de Bravo, a 1800m.

L. submontanus Rose. A 5 Km. Al este de Toluca.

L. vermicipus Rose. Santa Fe, D.F.

L. backeri Lindl. En Ajusco, D.F.

L. campesstri Cham. Et Schlt. En San Rafael, a 2600m; en Tejupilco.

L. af. Suplendes Rose. El Toro, D.F., a 2800m; en el Cerro Venacho, Amecameca, 2900m.

L. ehrenbegii Rose. Schlt En la Sierra de las Cruces, a 3000m.

L. mexicanus Cerv. En Tlamanalco.

L. montanus H. B. K. en las faldas del Iztaccihuatl, a 2680m; en Temascaltepec y en el Oro.

L. lozani Rose. En Lechería, a 2430m.

L. hintoni Smit. En Temascaltepec.

L. giganteus Rose. En Ajusco, a 3260m.

L. geophyllus Rose. En Ajusco, a 3260m.

L. bilineatus Benth. En Tlamacas, a 3800mm; Amecaameca, Estado de México.



L. af. geophylus Rose. En el Toro, D.F., a 2700m.

Un estudio basado en revisiones de herbario indicó que en México el número de especies del género *Lupinus* es ~111 (Bermúdez *et al.*, 2000), que se distribuyen desde Baja California a Chiapas a lo largo de las cadenas montañosas, con una mayor diversidad en la Faja Volcánica Transmexicana. Entre estas, *L. exaltatus* Zucc. es una especie anual o bianual que crece en claros de bosques de coníferas, a orillas de caminos y zonas de cultivo a 1800-2200msnm. Se distribuye en los estados de Jalisco, Morelos, Puebla, Estado de México, Michoacán, Colima y Guanajuato (Mc Vaugh, 1987; Dunn, 2001).

3.7.1 Descripción botánica.

Planta anual de tamaño variable de 0,4-2,5 m, dependiendo del genotipo y medio donde se cultive. Raíz pivotante con eje principal grueso, alcanza hasta 3 m; las raíces secundarias ramificadas tienen nódulos simbióticos con bacterias del género *Rhizobium*. Tallos cilíndricos, leñosos. Hojas palmeadas, digitadas. Inflorescencia racemosa con varios verticilos florales, cada uno de 5 flores, cuyos colores varían desde el azul, morado, celeste, rosado hasta el blanco. Androceo formado por 10 estambres dorsifijos y 5 basifijos; las flores en un 50-70 por ciento no llegan a formar frutos, especialmente en ramas secundarias y terciarias, debido a la abscisión floral. Fruto en legumbre pubescente, indehiscente en las cultivadas y con cierta dehiscencia en las semicultivadas y silvestres, de forma elíptica u oblonga, aguda en ambos extremos, con cerca de 130 vainas por planta. Semilla lenticular, de 8-10 mm de largo y 6-8 mm de ancho, de color variable entre negro y blanco, pasando por bayo, pardo, gris y amarillo verdoso; tegumento endurecido que representa el 10 por ciento de la semilla y contiene alcaloides. Cien semillas pesan entre 20 y 28 g (FAO, 1997).

Los colores del grano incluyen blanco, amarillo, gris, ocre, pardo, castaño, marrón y colores combinados como marmoleado, media luna, ceja y salpicado (Gross, 1982). Tiende



a una forma oval. Su longitud es aproximadamente de 3.7 a 5mm, el ancho es de 2.3 a 3.7mm y el grosor es de 1.9 a 2.6mm, las variaciones en el tamaño dependen tanto de las condiciones de crecimiento como del ecotipo y la variedad (Rodríguez y Rojo, 1997).

Las características que presenta *Lupinus uncinatus* en la zona de estudio son:

Planta perenne, de más de 1 m de alto, herbácea, de tallos huecos, estipulas de 7 a 9 mm de largo, peciolos de 1.5 a 2.5 de largo, foliolos de 5 a 8, de 3 a 4 cm de largo y 6 a 8 mm de ancho, ápices ligeramente agudos, flores esparcidas, ápice plumoso, moradas oscuras, caducas, los frutos son vainas dehiscentes de 4.5 a 5.5 mm de largo, conteniendo de 9 a 49 vainas y de 1 a 7 semillas maduras por vaina, florece a partir del mes de marzo y las primeras semillas maduras (blanquecinas a cenicientas) aparecen a mediados de mayo, estas semillas son de tipo recalcitrante, lo cual es raro en este género

Cada planta de *Lupinus uncinatus* puede llegar a tener 49 vainas y en cada vaina de 1 a 7 semillas, en especies como *Lupinus versicolor* se han encontrado de 32 a 64 vainas por rama y de 4 a 9 semillas por vaina, *Lupinus leptophyllus* Schlent & Cham contiene de 26 a 98 vainas por planta y de 2 a 9 semillas por vaina (Alderete, 2008), por lo que el contenido en el número de semillas es considerable en la mayoría de las especies. Similar a otros muchos taxa de leguminosas, las semillas de *Lupinus*, tienen una germinación baja e irregular que es atribuida principalmente a la impermeabilidad de las semillas al agua (Dehan *et al.*, 2003; Jurado y Flores, 2005). Se han realizado diversos trabajos probando métodos para superar la latencia física de semillas de *Lupinus*, por ejemplo las semillas de *Lupinus. Texensis* escarificadas con H_2SO_4 por 30-60 minutos mejoran la germinación (Davis *et al.*, 1991). Sin embargo los métodos de escarificación mejor conocidos para especies de *Lupinus*, no siempre dan resultados altos de germinación. Davis *et al* (1991) observó que en un lote de semillas de *Lupinus texensis* hubo solo un 80% de germinación, mientras que en otros lotes de la misma especie se incrementó de 87% a 95% de germinación. Dehgan *et al* (2003) reporta que la escarificación de H_2SO_4 concentrado durante 90 minutos por inmersión en agua por 24 horas es el mejor tratamiento para semillas de *L. sericesus* con 42% de germinación. Estudios recientes señalan que la



germinación de semillas de *Lupinus montanus* tiene un mayor porcentaje de 15 a 20 °C, sin embargo la intensidad luminosa no es un factor determinante para que esto ocurra, no obstante condiciones adecuadas de sombra, pueden beneficiar la germinación de las semillas a niveles altos de temperatura (Acosta-Percástegui y Rodríguez- Trejo, 2005). En otras palabras podemos decir que para obtener un alto rendimiento de las especies de *Lupinus* y puedan manejarse de forma directa, tienen que ser sometidas a un proceso de escarificación, y dependiendo de la especie será el tratamiento, en los mayoría de los trabajos realizados la escarificación química es en la que se obtienen mayores porcentajes de germinación.

En cuanto a la ramificación; la planta puede ser de eje central predominante, con ramas desde la mitad de la planta, tipo candelabro, o ramas terminales; o de una ramificación desde la base con inflorescencia a la misma altura. El número de ramas varía desde unas pocas hasta 52 ramas. El número de vainas y de ramas fructíferas tiene correlación positiva con una alta producción (Gross, 1982).

El ciclo vegetativo varía entre 150 y 360 días, dependiendo del genotipo y si se toma en cuenta la maduración del eje central solo, o la de las demás ramas. Las diferentes fases fenológicas son: emergencia, primera hoja verdadera, formación del racimo en el tallo central, floración, envainado, maduración de vainas y madurez fisiológica. Las semillas presentan latencia por inmadurez, ya que requieren una fase de postmaduración antes de germinar. En especies silvestres de *Lupinus* la dispersión es espontánea por la dehiscencia, pudiendo incluso alcanzar varios metros (FAO, 1997).

Raíces y nódulos

Tiene raíz pivotante vigorosa y profunda que pueden que puede extenderse hasta 3 metros de profundidad. En la raíz se desarrolla un proceso de simbiosis con bacterias nitrificantes que forman nódulos de variados tamaños (1 a 3 cm). En suelos con presencia de bacterias, la formación de los nódulos se inicia a partir del quinto día después de la germinación, los nódulos pueden llegar a alcanzar un diámetro hasta 3 cm, estos nódulos se



localizan principalmente en la raíz primaria, por encima de la ramificación radicular, e incluso en las raíces secundarias.

Altitud y temperatura para *Lupinus*

Las exigencias de temperatura de *Lupinus* pueden ser muy variables de acuerdo al origen genético de la semilla. Existen especies que pueden crecer y producir a nivel del mar y otras como *Lupinus mutabilis* que se cultiva en el Perú y en Bolivia hasta en alturas de 4000 msnm. Existen ecotipos que sobreviven a las temperaturas por debajo de los -9.5°C.

El *Lupinus mutabilis* en estado adulto resiste a las heladas, mientras que la planta joven es muy susceptible al frío; el *Lupinus albus* resiste fácilmente temperaturas bajo 0°C. Durante el crecimiento la temperatura óptima durante el día debe oscilar entre 20 y 35 °C. Temperaturas por encima de 28°C interfieren en el óptimo desarrollo de la planta (Gross, 1982).

Las especies del género *Lupinus* pueden crecer en temperaturas de 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 o de reciente formación en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 4000 metros de altitud y no resisten heladas prolongadas, por tanto tiene una amplia adaptación climática con requerimientos variables según la especie y variedades (López-Ballido y Fuentes, 1986).

Régimen de la lluvia y humedad ambiental

Las exigencias de precipitaciones que tiene el *Lupinus* varían normalmente y dependen del suelo, la temperatura atmosférica y la precocidad de la planta; se ha notado que puede crecer en zonas de escasas precipitación pluvial. Los ecotipos de maduración temprana necesitan como mínimo 350mm durante su periodo vegetativo (Gross, 1982).



Condiciones del suelo

Si el *Lupinus* dispone de la humedad suficiente se desarrolla mejor en suelos de baja fertilidad y de textura gruesa que en suelos fértiles y de textura muy fina. En las laderas y faldas de los cerros su rusticidad constituye una ventaja (Gross, 1982).

Fertilización

Se ha demostrado que mientras crecen el *Lupinus albus* y el *Lupinus termis* en el área del mediterráneo y el *Lupinus mutabilis* en Sudáfrica no son sensibles a la fertilización sin embargo es importante considerar dos particularidades al calcular la demanda de fertilizante de la siembra (Gross, 1982).

a) El *Lupinus* es un cultivo leguminoso que actúa como auto abastecedor de N, en tanto transforma el N atmosférico con la ayuda de bacterias noduladas.

b) Las raíces profundas de *Lupinus* exploran mayor volumen del suelo para encontrar los requerimientos nutricionales de la planta. Las secreciones de la raíz ayudan más adelante a la adquisición de nutrientes del suelo no solubles mayormente presentes en la forma de minerales de solubilidad y disponibilidad variable para la planta. La inoculación de rhizobium es recomendable para los suelos donde esta planta no fue sembrada durante 7 años o más. La planta puede fijar hasta 340 kg de N a través de la fijación simbiótica sin embargo es necesario evitar la aplicación de N mineral que retrasa la fijación simbiótica del N atmosférico que está expuesta a iniciar tres o cuatro semanas después de emerger la semilla. Se recomienda utilizar únicamente 20 kg de N por hectárea (Yagodina y Verebkin, 1978). Gukova *et al.*, (1971) observó que al aumentar la aplicación de fertilizante de N se reduce la formación de nódulos y la fijación de N por las bacterias noduladas. Si el *Lupinus*



se cultiva en suelos con propiedades físicas y químicas favorables, el fertilizante nitrogenado puede ser reducido e inclusive evitado.

Usos y valor nutricional

Lupinus no sólo es una importante fuente de proteínas (42,2 por ciento en el grano seco, 20 por ciento en el grano cocido y 44,5 por ciento en la harina), sino también de grasa, puesto que el contenido ésta en el grano seco es de 16 por ciento y en la harina de 23 por ciento. Se utiliza en la alimentación humana previa eliminación del sabor amargo, para lo cual existen diversos métodos. Las formas de preparación varían según las regiones y ocasiones de consumo: cebiche serrano, sopas (crema de tarwi); guisos (pepián); postres (mazamorra con naranja) y refrescos (jugo de papaya con harina de tarwi). Industrialmente se obtiene harina que se usa hasta en un 15 por ciento en la panificación. Tiene la ventaja de mejorar considerablemente el valor proteico y calórico del producto; asimismo permite una más larga conservación del pan debido a la retrogradación del almidón, obteniéndose un mayor volumen por las propiedades emulgentes que tiene la lecitina del tarwi dulce. Los alcaloides (esparteína, lupinina, lupanidina, etc.) se emplean para controlar ectoparásitos y parásitos intestinales de los animales. Ocasionalmente los agricultores utilizan el agua de cocción del tarwi como laxante y para el control de plagas en plantas. En el estado de floración la planta se incorpora a la tierra como abono verde, con buenos resultados, mejorando considerablemente la cantidad de materia orgánica, estructura y retención de humedad del suelo. Por su contenido de alcaloides se siembra a menudo como cerco vivo o para separar parcelas de diferentes cultivos, evitando el daño que pudieran causar los animales. Los residuos de la cosecha (tallos secos) se usan como combustible por su gran cantidad de celulosa que proporciona un buen poder calorífico (FAO, 1997).



IV. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento de la población es un indicador importante de la demanda de alimentos. Entre mayor sea el nivel poblacional mayores serán los requerimientos de alimentos. De acuerdo con las estimaciones de CONAPO, la población mexicana continuará creciendo a un ritmo aproximado de 0.7% anual, por lo tanto el nivel poblacional pasará de 107.6 millones de personas en 2009 a 110 millones en 2012 y 114.4 millones en 2018 (SAGARPA, 2009).

En este sentido la producción mundial de los fertilizantes mantiene una tendencia creciente debido al incremento de la agricultura por efecto del crecimiento de la población. De acuerdo con información de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes (IFA), entre 2002 y 2007 la oferta global creció a una tasa media anual de 3.4%. En dicho periodo, la producción alcanzó un promedio de 165.3 millones de toneladas de nutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio. Los principales países productores de fertilizantes son: China (22.4%), Estados Unidos (11.9%), India (9.4%), Canadá (8.7%) y Rusia (8.6%). En las estadísticas Internacionales México figura en el lugar 36 con 0.4% de la producción mundial. En el mediano plazo, se espera que la demanda de fertilizante crezca a una tasa constante. En comparación con el consumo promedio registrado entre 2005 y 2007, se proyecta que éste se incremente hacia 2012 una tasa media anual de 3.1%, para alcanzar 194.3 millones de toneladas (FIRA, 2009).

Con base en lo anterior y a partir de la revisión literaria, cabe preguntarse ¿Cómo hacer para incrementar y eficientar la producción de maíz bajo condiciones de campo que además cubra las necesidades alimentarias de la población mexicana y se oriente a evitar el uso de fertilizantes químicos?



4.1. JUSTIFICACIÓN

Los ejidatarios de la comunidad de San Pablo Ixayoc, Texcoco, México donde se encuentra la zona de estudio reconocen a *Lupinus uncinatus* con el nombre de cola de coyote asociándola a una maleza y por esta razón rastrean a la especie cuando aparece de forma esporádica en sus cultivos. Con los antecedentes, se demuestra que *Lupinus uncinatus* mejora las concentraciones de N y P tanto en el suelo como en el tejido vegetal de las plantas que se encuentran asociadas a ella.

En este sentido, el presente estudio proporcionará datos concisos del grado de influencia de *Lupinus uncinatus* en los suelos agrícolas de la comunidad, para que ésta sea reconocida como una planta que mejora las condiciones del suelo y eleva el rendimiento en la producción de Maíz.



4.2. HIPÓTESIS

Lupinus uncinatus al encontrarse en su hábitat natural, tendrá los parámetros adecuados para su desarrollo como son altitud, temperatura y tipo de suelo, por lo que mediante su mecanismo de liberación de fósforo y fijación de nitrógeno contribuirán al aumento de éstos nutrientes en el suelo y en la biomasa de *Zea mays*.



4.3. OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES.

Evaluar el efecto nutricional que ejerce *Lupinus uncinatus* sobre maíz (*Zea mays*) cultivado en condiciones de campo.

OBJETIVOS PARTICULARES

Cuantificar las concentraciones de nitrógeno y fósforo en suelo y materia vegetal, en condiciones de asociación y monocultivo.

Cuantificar las concentraciones de nitrógeno y fósforo de la raíz de *Zea mays* en asociación y monocultivo.



V. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se realizó en los ejidos de San Pablo Ixayoc (Volcán del Tláloc), perteneciente al municipio de Texcoco, Estado de México. Se encuentra localizado a 2945 msnm entre las coordenadas $19^{\circ} 26' 59.2''$ de latitud N y $98^{\circ} 46' 33.4''$ de longitud W en el cinturón volcánico mexicano transversal. El clima es templado subhúmedo, con precipitación media anual entre 800 y 900 mm, régimen de lluvia en verano, temperatura media anual entre 12 y 18°C y con oscilación térmica entre 5 y 7°C ; la mayor parte de los suelos son andosoles aunque se pueden encontrar tepetates (Ortiz y Cuanalo 1977) (figura 1).

Ubicación geográfica de la Región XI Texcoco

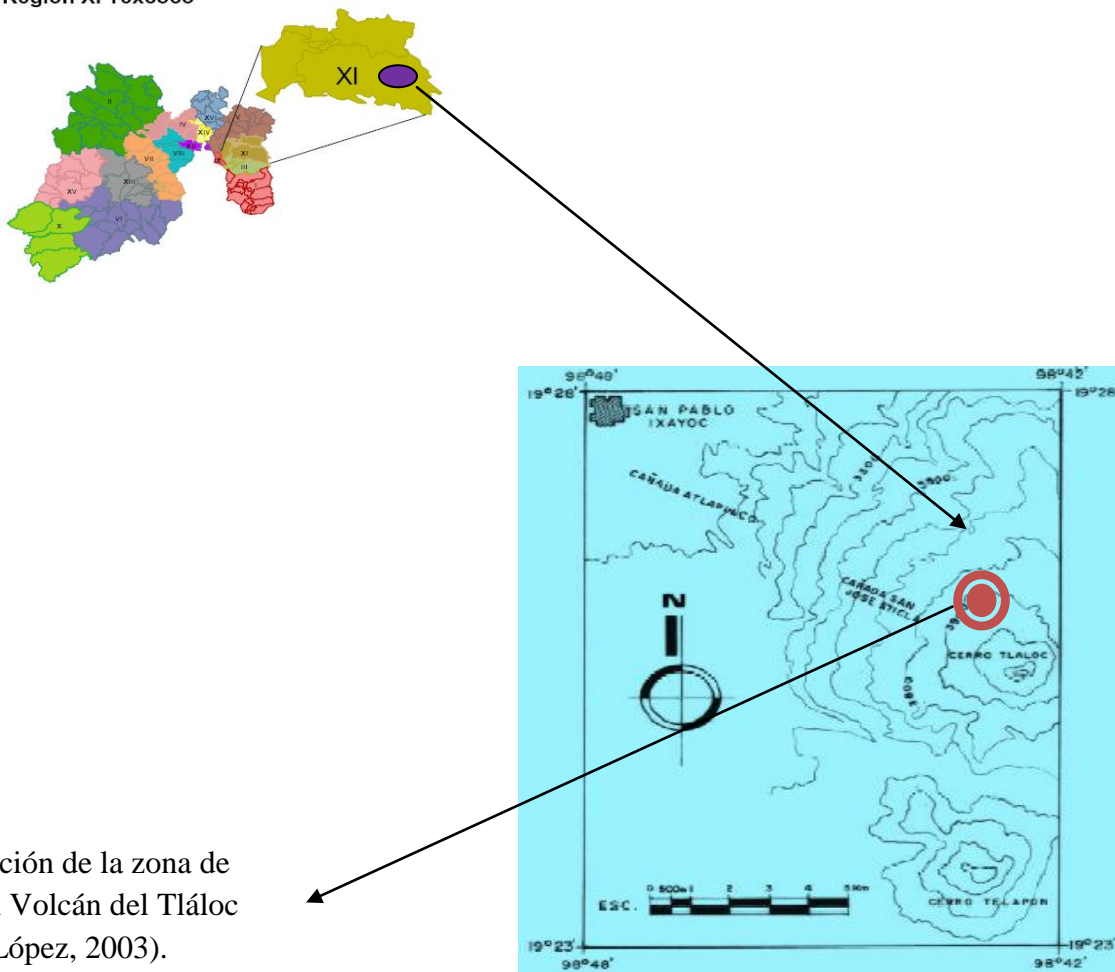


Fig 1. Ubicación de la zona de estudio en el Volcán del Tláloc (Sánchez y López, 2003).



Las elevaciones más notables corresponden a los Volcanes Tláloc 4120 m, Telapón (4060 m), Yoloxóchitl (3900 m) y los Potreros (3900 m). Las laderas de estas elevaciones muestran graves problemas de erosión en toda la montaña (Palma, 1996). A lo largo del declive occidental del Volcán del Tláloc se distinguen tres subtipos climáticos: en las áreas planas cercanas a los lomeríos el clima es templado subhúmedo con precipitación media anual de 700 mm, régimen de lluvias en verano y temperatura media anual entre 12 y 18 °C con una oscilación térmica entre 5 y 7 °C. En la zona de lomeríos, hacia las estribaciones de la sierra el clima es templado subhúmedo con precipitación media anual entre 800 y 900 mm y régimen de lluvia en verano, temperatura media anual entre 12 y 18°C y oscilación térmica entre 5 y 7 °C. En las laderas montañosas el clima es templado subhúmedo, con una precipitación media anual entre 900 y 1200 mm, régimen de lluvias en verano, temperatura media anual entre 10 y 14 °C y con una oscilación térmica entre 5 y 7 °C (Ortiz y Cuanalo 1977). Tales fluctuaciones climáticas se deben principalmente a la influencia de la orografía. A medida que se asciende por las laderas la temperatura disminuye en una proporción promedio de 0.49 °C por cada 100 m de aumento en altitud, por esta razón los climas varían de templados a fríos. La niebla y el rocío son frecuentes y persistentes y en ocasiones se presentan nevadas en las partes altas.

Los suelos son insipientes, de textura gruesa en las proximidades del cono cinerítico del Tláloc y el resto del área son negros, profundos, muy ricos en materia orgánica y de textura media (Migajones o Francos), la mayor parte de suelos son de origen volcánico tipo andosol. Palma (1996) reporta 6 tipos de vegetación: bosque de pino, bosque de oyamel, pastizal, bosque de pino-oyamel-encino, bosque de pino-aile-encino y bosque de pino-encino. El principal uso de suelo es la agricultura de temporal y entre los cultivos más importantes: maíz, frijol, asociación maíz-frijol-calabaza, cebada y avena (figura 2).

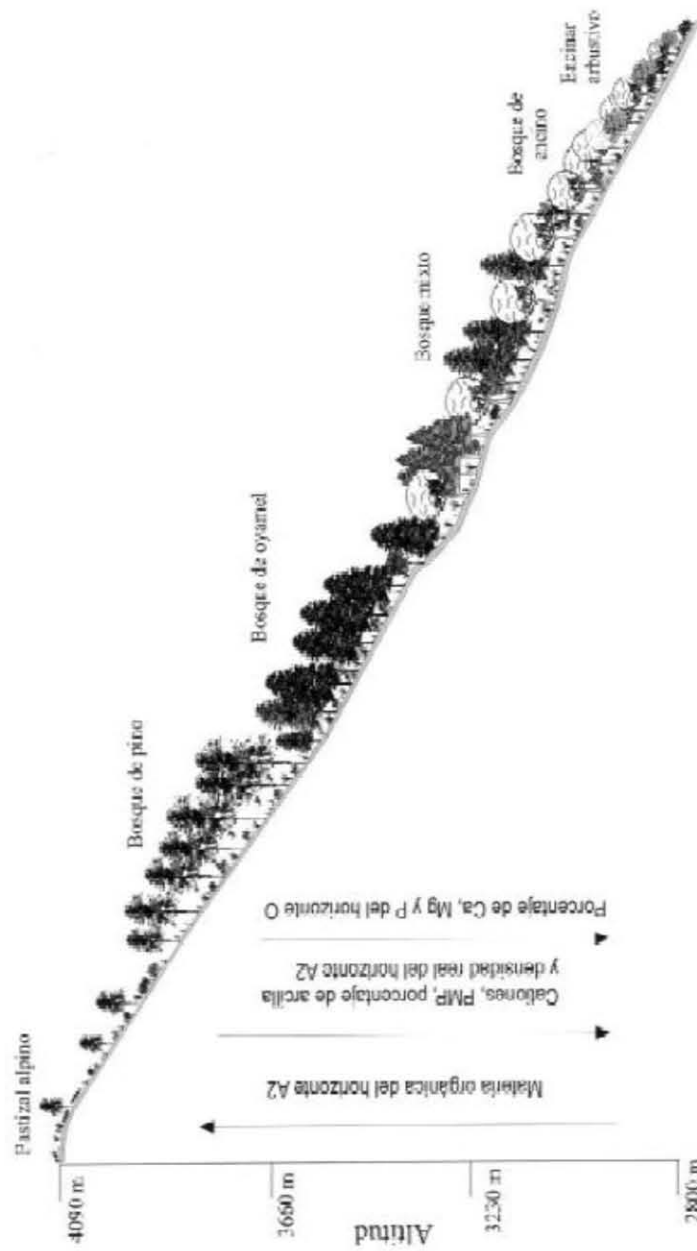


Fig. 2 Perfil fisonómico fisiográfico de las comunidades vegetales presente en la Sierra Nevada del Tlálloc. (Sánchez y López, 2003).



VI. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó una parcela en el ejido de San Pablo Ixayoc, en el Volcán del Tláloc, Estado de México. De acuerdo a observaciones previas de la zona, durante los años 2008 y 2009 se realizaron trabajos de distribución altitudinal de la especie *Lupinus* y se localizaron siete poblaciones bajo diversas condiciones ecológicas en parcelas bajo cultivos anuales (*Zea maíz*, *Hordeum vulgare* y *Canavalia ensiformis*), en áreas perturbadas por extracción de árboles en apertura natural del dosel y en áreas perturbadas por incendios forestales (Alderete, 2008).

Por estas razones, se considero relevante seleccionar la parcela en el sitio referido. La superficie de la parcela fue de una hectárea en la cual se sembró Maíz criollo, se utilizó un cuadrante de 10 m X 10 m (fig. 3).

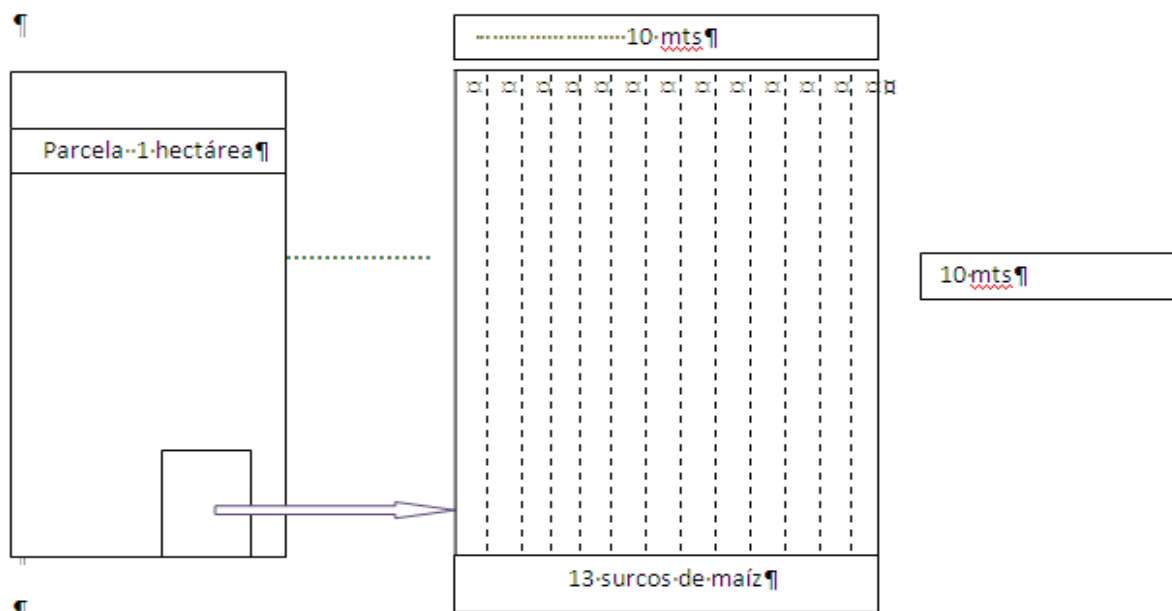


Fig. 3. Representación de la parcela y del cuadrante de estudio



El diseño se genero a través del recorrido que se realizo en todo el terreno cultivado, la superficie se selecciono al azar. Con este diseño se pretendió simular el establecimiento como normalmente se realiza en condiciones de Invernadero, ya que la mayoría de los trabajos reportados sobre asociaciones son bajo condiciones controladas.

Durante el mes de Enero se barbecho y se rastreo para eliminar agentes infecciosos en el terreno de cultivo por medio de la baja temperatura que predomina en esta temporada.

Previo a la siembra de maíz se tomaron muestras de suelo a 30 cm de profundidad con una pala en 20 puntos diferentes dentro del cuadrante de observación en un diseño de zigzag, y se formó una muestra compuesta (fig. 4). Las muestras de suelo fueron colocadas en bolsas de plástico previamente etiquetadas con datos de altitud y coordenadas tomadas con GPS. Se llevaron al laboratorio de Chapingo, fueron secadas durante 5 días a temperatura ambiente y tamizaron con una malla de 2 mm para su análisis en el laboratorio.

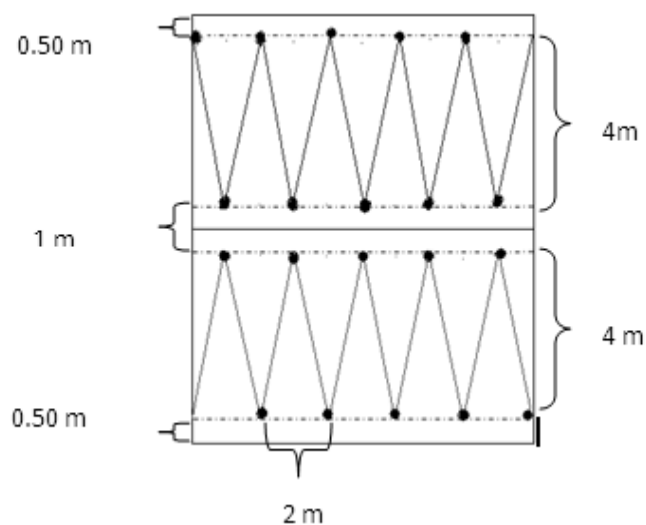


Fig.4. Muestreo en zigzag



A mediados de Marzo se sembró la semilla de Maíz con el uso de tractor, la separación entre surcos fue de 0.80 m y la distancia entre cada planta fue de 0.50 a 0.60 m.

Se realizaron observaciones en los meses posteriores para detectar si *Lupinus* presentaba infestación de alguna plaga que pudiera intervenir en su desarrollo, hasta el mes de Octubre que fue donde se cosecho el Maíz.

En la cosecha se colectaron 10 muestras para monocultivo (maíz) y 10 muestras para la asociación (maíz-*Lupinus*) cada planta fué seleccionada al azar, en cada punto donde se colecto el material vegetal también se colectaron muestras de suelo para tener una muestra compuesta en cada caso.

Las plantas de Maíz se colocaron en bolsas de papel, se etiquetaron refiriéndose si es monocultivo o asociación, se llevaron al Colegio de Postgraduados donde se separo la parte de la raíz y parte foliar, se analizó el contenido de nitrógeno y fósforo. Se colocaron en la estufa, se pesaron y trituraron para su análisis en el laboratorio.



Material vegetal

Se utilizó *Zea mays* (maíz fue criollo de la zona) y *Lupinus uncinatus* identificada por Alderete (2008), se utilizaron claves taxonómicas generadas para el Valle de México (Calderón de Rzedowski, 2005), y se realizaron consultas a expertos de diferentes herbarios nacionales (Instituto de Ecología, UNAM, Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma de Chapingo) (figura 5).



Fig 5. *Lupinus uncinatus*



Análisis de suelo y tejido vegetal

Los análisis químicos realizados al suelo y tejido vegetal se describen en los cuadros 2 y 3:

Cuadro 2. Procedimientos analíticos para el análisis de suelos

Parámetro	Técnica
pH	Potenciómetro en el extracto de saturación
Conductividad Eléctrica (C.E)	Conductímetro en el extracto de saturación (Richards, 1990)
Materia Orgánica	Walkley y Back (Jackson, 1964)
Fósforo	Olsen (Olsen <i>et al</i> , 1965)
Nitrógeno	Kjeldahl modificado



Cuadro 3. Procedimientos analíticos para el análisis de plantas

Parámetro	Técnica utilizada
Nitrógeno	Semimicro-kjeldahl (Bremmer, 1965)
Fósforo	Fotocolorimetría por reducción con molibdovanadato (Bremmer, 1965)

Análisis estadístico

A los resultados obtenidos, se les realizó un análisis de varianza (ANOVA), con el programa statgraphics plus 5.1, para establecer diferencias significativas entre monocultivo y asociación.



VII. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para ilustrar el efecto del impacto por parte de *Lupinus* sobre el maíz, se muestran las fotografías de las figuras 6, 7 y 8 tomadas en el mes de junio y en la que se observa que *Lupinus* se adaptó al sistema de siembra de maíz.



Fig. 6. Asociación de *Lupinus* con maíz



Fig. 7. Asociación de *Lupinus* con maíz



En la figura 8, se muestra la parcela donde se desarrollo la asociación de *Lupinus* y maíz en el ejido de San Pablo de Ixayoc.



Fig. 8. Parcela donde se desarrollo la asociación.



Dentro del cuadrante estudiado se obtuvo un 68% de sobrevivencia de planta de maíz, ya que de una densidad de 260 plantas estimadas, solo se establecieron 177. En cuanto a *Lupinus* se logro una densidad de 34 plantas; de las cuales 20 se asociaron con maíz, por lo que se obtuvo 58% de asociación. La distribución de la densidad por surco se presenta en el cuadro 4.

Cuadro 4. Densidad de plantas de monocultivo y asociación

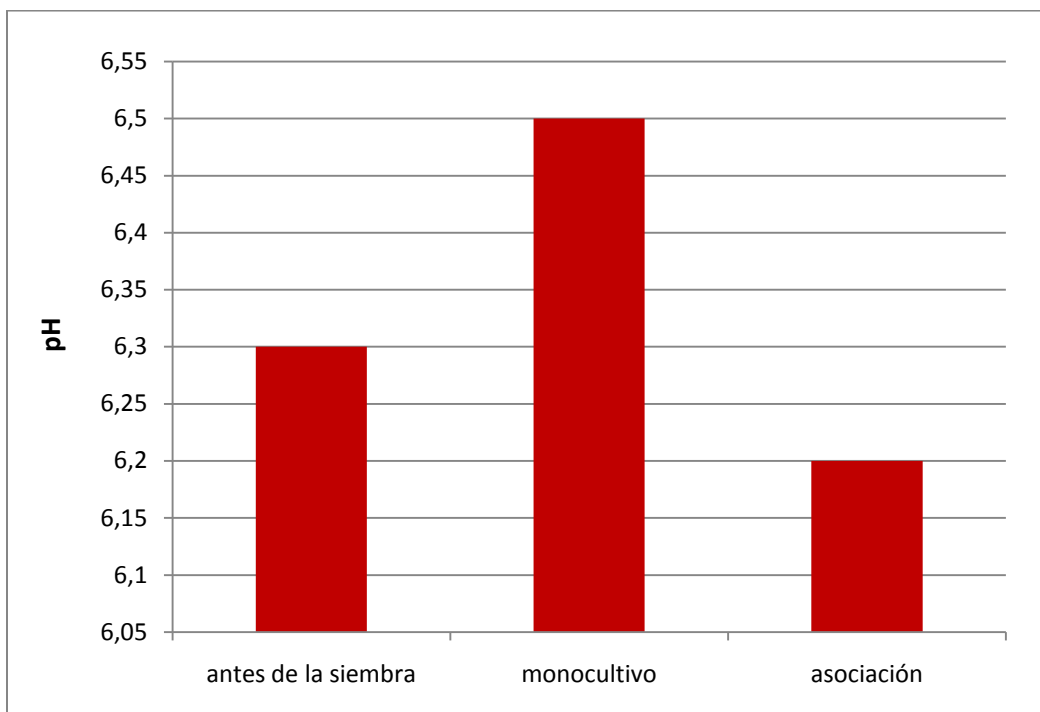
Surco	<i>Lupinus</i>	Asociación L/M	Plantas de Maíz
1	3	2	12
2	2	1	12
3	2	0	5
4	2	1	7
5	1	1	10
6	3	2	11
7	2	3	17
8	4	2	13
9	6	2	15
10	5	2	21
11	2	2	17
12	1	1	17
13	1	1	20



En la siguiente discusión se presentan los resultados con sus respectivas gráficas de las pruebas químicas que se realizaron en el sustrato con el fin de identificar si existieron cambios con la incorporación de la leguminosa en comparación con el monocultivo.

Con respecto al pH del suelo, no se observaron diferencias entre las muestras tomadas antes de la siembra, en monocultivo y asociación dado que este parámetro fue de 6.2 a 6.5. En la gráfica 1 se puede observar que no existió una disminución en el pH, para los tres casos los valores se mantienen en un rango de 6.2 a 6.5, de acuerdo con Jones y Wolf, (1984) los valores encontrados indican que es un suelo ligeramente ácido, característica de los andisoles (5.2 6.5) (Alvarez, 1982 y Laird, 1984). Este tipo de suelos es donde *Lupinus* crece de forma adecuada pues prefiere suelos ligeramente ácidos y sus raíces tienen la capacidad de acidificar la rizosfera. Marschner *et al* (1987) señala que *Lupinus albus* acidifica el suelo debido al desbalance de cationes y aniones. También Hinsinger (1995) concuerda en que *Lupinus mutabilis* baja el pH debido a la misma situación, pero suele presentarse en suelos de tipo calcáreo. Dinkelaker *et al.*, (1989) realizó un trabajo estudiando la excreción de ácido cítrico y precipitación de citrato de calcio en la rizosfera de *Lupinus albus*, y obtuvo que el pH se abatió hasta 4.8.

De acuerdo con Ojeda (1975), el valor adecuado de pH para que crezca *Zea mays* es de 6 a 8, intervalo donde la mayoría de las especies vegetales crecen adecuadamente y es considerado como un valor neutral. El pH es un parámetro importante del suelo que está relacionado con la disponibilidad de nutrientes, entre los que se encuentran el fósforo y el nitrógeno. El fósforo es más disponible en valores de pH de 6 a 7, tal caso es similar para el nitrógeno (IPF, 1997).



Gráfica 1. pH del suelo

Referente a la conductividad del suelo, la cifra más alta (0.79 dS m^{-1}) se encontró en las muestras tomadas antes de la siembra y la más baja (0.3 dS m^{-1}) en la asociación (Gráfica 2). Rodríguez (2000), registró valores de $0,28$ y $0,48 \text{ dS m}^{-1}$ en suelos andosoles, esto nos indica que este tipo de suelos no tienen problemas en cuanto a la salinidad. Entre los mecanismos que utiliza esta especie para solubilizar y absorber nutrientes se tiene la absorción de cationes básicos que baja el pH de la rizosfera, esta es una de las razones por la cual la conductividad disminuye en asociación.

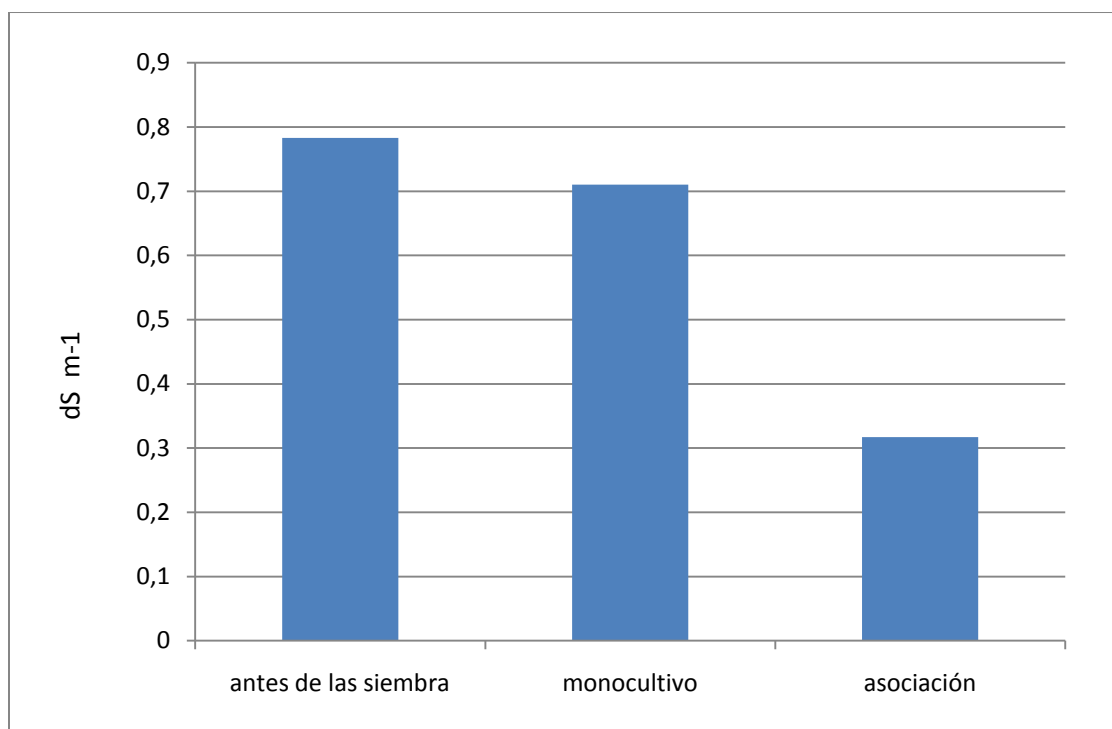
Las sales en el suelo se encuentran asociadas, formando compuestos iónicos y (NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 , etc.) se pueden encontrar en tres disposiciones: a) disueltos en la solución del suelo, b) adsorbidos en las arcillas o material orgánico muy fino. Las iones



más comunes en la solución del suelo son: cloruro, sulfato, carbonato, bicarbonato y nitrato como aniones y calcio, magnesio sodio y potasio como cationes.

El efecto de las sales solubles sobre las plantas, se clasifica convenientemente bajo tres encabezados: 1) Depresión en el rendimiento y crecimiento, o deterioro en la calidad, determinado por la reducción del potencial osmótico del medio; 2) Efectos tóxicos que causan síntomas característicos de daño asociado con la acumulación de un ion específico en la planta; cuyos efectos provocan una reducción en el crecimiento y rendimiento más severa que el efecto osmótico de la solución del suelo y 3) desbalances nutricionales provocados por el exceso de uno o varios iones en la solución de suelo (SMCS, 1987).

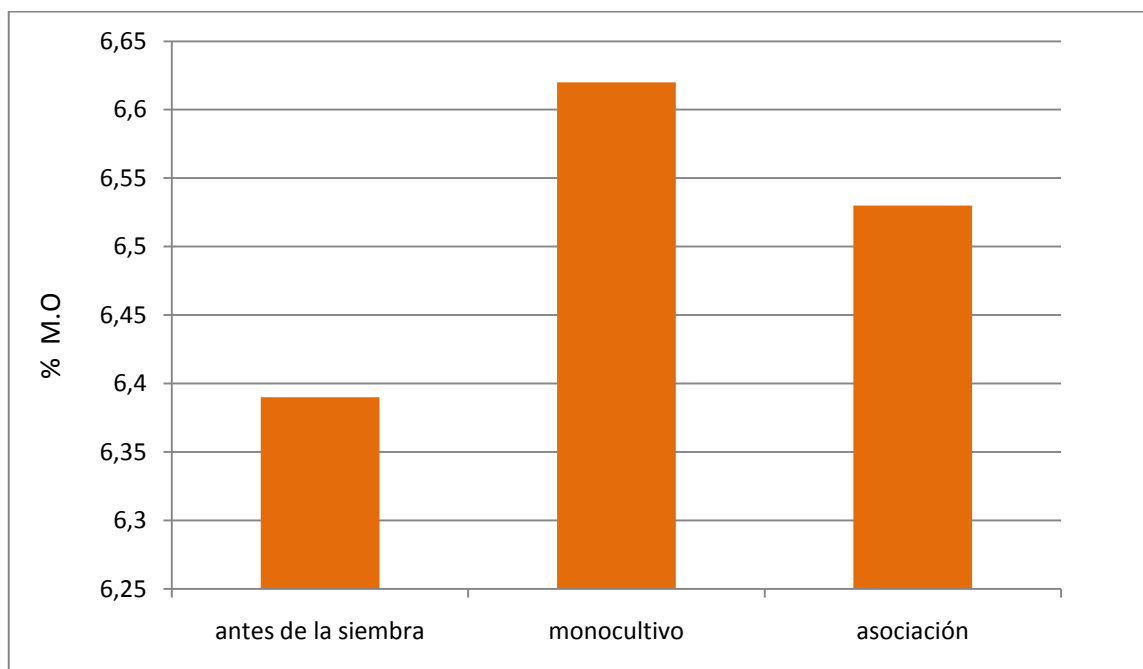
De acuerdo con la NOM-21-SEMARNAT (2000) los resultados que se obtuvieron se consideran como no salinos, el significado agronómico es que las sales no afectan a los cultivos, por lo que el maíz no se ve afectado por este parámetro.



Gráfica 2. Conductividad en el suelo



La M.O.S presentó su valor más alto (6.62%) en el monocultivo y el más bajo (6.39%) antes de la siembra. La asociación tuvo un porcentaje de 6.53% (Gráfica 3). De acuerdo con la interpretación para suelos volcánicos, de 6.1 a 10.9 se consideran suelos con valor medio en materia orgánica (Fassbender y Bornemissa, 1987). Alderete (2008) reportó valores de 6.95 para esta zona, esto quiere decir que las concentraciones de materia orgánica se han mantenido casi constante. Como se sabe la materia orgánica mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Influye en el color, estructura, plasticidad, capacidad de retención de humedad, capacidad de intercambio catiónico y aniónico, disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre, pH, control de la flora microbiana, génesis del suelo susceptibilidad a la erosión, etc (SMCS, 1987). Sobre el pH del suelo la materia orgánica actúa como estabilizador produciendo un efecto "tampón" o sea, evitando variaciones rápidas y significativas del mismo (Rodríguez 1982).



Gráfica 3. % Materia orgánica



En cuanto al N-total, éste fue mayor (0.49%) en la asociación, seguido por el monocultivo (0.42%) y el menor (0.29%) en las muestras antes de la siembra (Gráfica 4). Como se esperaba, el N-total fue mayor en la asociación, efecto provocado por la leguminosa; que por medio de sus nódulos encontrados en su raíz fijan el N atmosférico.

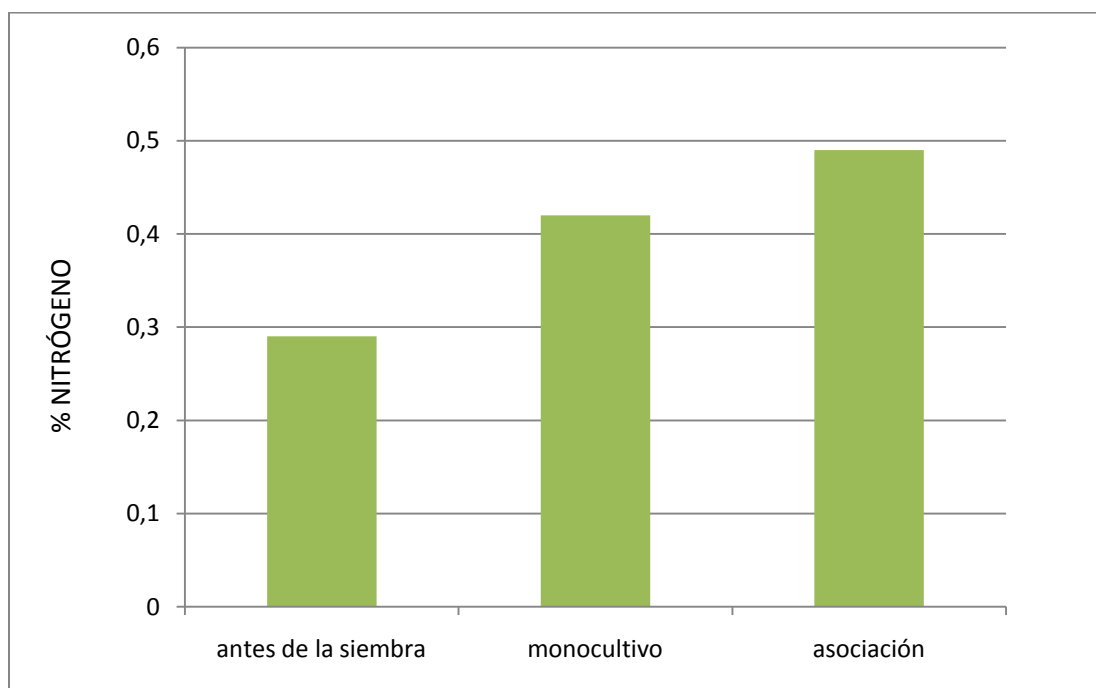
Estos valores de N-total coinciden con lo establecido en la NOM-021-SEMARNAT (2000); en donde se tienen valores de interpretación para suelos de origen volcánico; es así que porcentajes menores a 0.3 son denominados bajos en N, mientras que valores de 0.3 a 0.8 son considerados como medios, tanto la muestra de monocultivo como la de asociación se encuentra en el mismo rango de concentración pero esta difieren en un 0,07%. Alderete (2008) registro valores de 0.13% para esta zona y junto con los resultados obtenidos en esta investigación se observó un aumento en la concentración del nutrimento. Barrientos *et al.*, (2002) comparo la cantidad de nitrógeno fijado por dos especies de *Lupinus* (*L.albus* y *L. angustifolius*), en la primera evaluación (45 días de la siembra DDS) fijaron 69 y 49% derivado del aire, en la segunda evaluación (80 DDS) fijaron 95 y 91% respectivamente demostrando que las especies de *Lupinus* tienen la capacidad de fijar elevadas cantidades de nitrógeno.

En este trabajo no se cuantifico la importante relación C/N (carbono/nitrógeno). Rodríguez (1982) menciona que en el suelo hay un determinado nivel de nitrógeno utilizable, tanto por las plantas (que lo absorben principalmente en su estado de nitrato, NO_3^-) como por los microorganismos. Al incorporarse nuevos compuestos orgánicos al suelo los microorganismos actúan sobre ellos utilizando una cierta cantidad de nitrógeno. Si el nuevo conjunto tiene una relación C/N superior a 30 significa que hay mucho carbono y poco nitrógeno para las actividades de los microorganismos, debiendo estos tomar el nitrógeno del suelo para comenzar su actividad. En este lapso baja la cantidad de nitrógeno soluble en el suelo, pues está siendo utilizado por los microorganismos: es lo que se llama “inmovilización de nitrógeno”.



A medida que pasa el tiempo los microorganismos van descomponiendo el residuo orgánico, disminuyendo en el proceso la relación C/N. Esta relación cuando está entre el 30 y el 15 es la cantidad necesaria de nitrógeno existente en suelo, pero simultáneamente tampoco hay una liberación de nitrógeno soluble para la absorción inmediata de la planta que solo lo extrae del nivel que hay en el suelo.

Cando la relación C/N es inferior a 15 recién comienza la liberación de nitrógeno soluble en el suelo, la descomposición continúa hasta un nivel estable donde la C/N es aproximadamente 10, que es la correspondiente a la composición del humus



Gráfica 4. % de nitrógeno en el suelo

En el caso del P que se representa en la gráfica 5, se muestra la clara variación que hay en los tres casos; para antes de la siembra tenemos un valor de 8.33 mg kg^{-1} , valor que se incremento en el monocultivo (10.98 mg kg^{-1}), pero en la asociación el valor se incremento a 19.71 mg kg^{-1} .



De acuerdo con la NOM-21-SEMARNAT (2000) el rango de 5.5 a 11 mg kg⁻¹ de fósforo en el suelo se clasifican con un valor medio en la concentración de este elemento, y más de 11mg kg⁻¹ se denominan altos. Con base en esto, el suelo en la asociación se encuentra denominado como alto, incremento atribuido a la leguminosa.

Según la literatura, en la rizosfera de esta especie se segregan ácidos orgánicos capaces de liberar fósforo para su desarrollo.

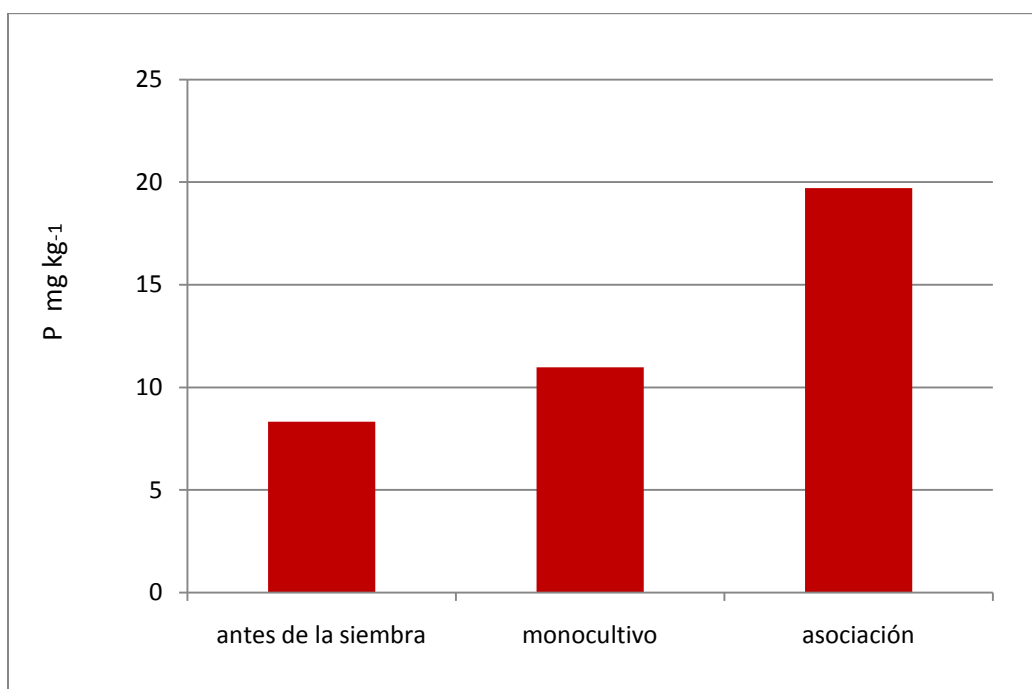
El resultado de fósforo en el andosol, donde se elaboro la investigación es interesante. La fijación del fósforo se presenta en mayor o menor grado en todos los suelos agrícolas; sin embargo, en suelos ricos con materiales amorfos de Al (andosoles) este fenómeno se presenta de manera extrema (Aguilar y Cajuste, 1987). Con base en esto se encontró que *Lupinus* se adapto a las condiciones de este suelo (Gráfica 5) y es capaz de liberar cantidades de fósforo y fijar nitrógeno en su rizosfera, por esta razón *Lupinus* proyecta un buen futuro como una alternativa para disminuir las cantidades de fertilizantes.

Dinkelaker *et al* (1995) menciona que ante la deficiencia de P aprovechable en el suelo *Lupinus* ha desarrollado en su raíz estructuras llamadas proteoídes, que tienen la apariencia de pelos radicales muy diferentes. Estos tienen una longitud que varía de 0.5 a 1.0 cm, cubren densamente a las raíces laterales y son las que segregan los ácidos orgánicos. Estas raíces tienen la capacidad de acidificar fuertemente la rizosfera. Tales estructuras tienen la capacidad de liberar al fósforo por la segregación de ácidos orgánicos como ácido málico y ácido cítrico, de este último, se estima que *Lupinus blanco* lo segrega en una concentración 0.1 mmol g⁻¹, Estos ácidos son capaces de solubilizar el P que está ligado al Fe y Al (citado en Akhtar, 2004).

De acuerdo con Gardner y Boundy (1983), *Lupinus albus*, está adaptado a suelos ácidos, andosoles derivados de cenizas volcánicas y ha demostrado un buen crecimiento en suelos deficientes en fósforo disponible dejándolo disponible para su absorción por las plantas.



Como puede apreciarse en las Gráficas 4 y 5, El P y N aumentaron en el suelo de la asociación con respecto al monocultivo. El fósforo en la asociación aumento casi en un 50% en comparación con los otros dos tratamientos. El nitrógeno en la asociación aumento un 29% en comparación con la muestra tomada antes de la siembra y con respecto al monocultivo un 15% y tal y como se esperaba que la leguminosa tu viera tal efecto.



Gráfica 5. Fósforo en el suelo.



ANÁLISIS QUÍMICO DEL TEJIDO VEGETAL

Con el análisis al tejido vegetal se evaluaron Nitrógeno y Fósforo, que son dos de los nutrimentos más importantes para valorar las propiedades nutricionales de un vegetal.

El análisis químico relacionado al tejido vegetal demostró que el %N fue mayor (1.9%) en las hojas de la asociación que en monocultivo (1.2%).

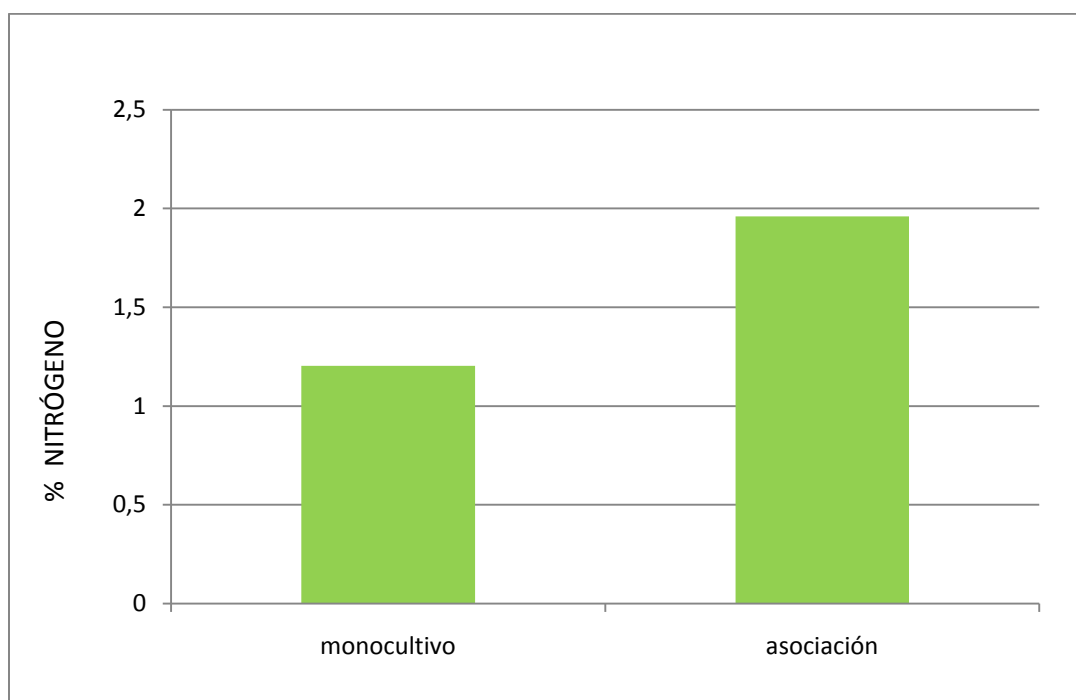
Los 10 valores de asociación tuvieron una media de N 1,96% y una desviación típica de 0.4, mientras que los 10 valores de monocultivo presentaron una media de N de 1.2% y una desviación típica de 0.3. El procedimiento ejecuta un t-test para comparar las medias de las dos muestras y un F-test para comparar las varianzas. Dado que el p-valor para el t-test es inferior a 0,05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias al 5% de nivel de significancia entre tratamientos (anexo 1).

De acuerdo con el cuadro 5, los valores de N obtenidos en el tejido foliar del presente trabajo están clasificados como deficientes ya que la parte de monocultivo tiene un valor promedio de 1,2% y para asociación de 1,9%; sin embargo se aprecia que en la asociación de la leguminosa con el maíz existe una diferencia significativa, por tal motivo la asociación resultó benéfica en cuanto al incremento de nitrógeno.

Cuadro 5. Rango de contenido de nutrientes en el tejido foliar de *Zea mays*

(Jones, 1998)

ELEMENTO		Deficiente	Bajo	Suficiente	Alto	Excesivo
NITRÓGENO	%	< 2.45	2.45-2.75	2.76-3.50	3.51-3.75	> 3.75
FÓSFORO	%	< 0.15	0.16-0.24	0.25-0.40	0.41-0.50	>0.50
POTASIO	%	< 1.25	1.26-1.70	1.71-2.25	2.26-2.50	>2.50



Gráfica 6. % de nitrógeno en tejido vegetal

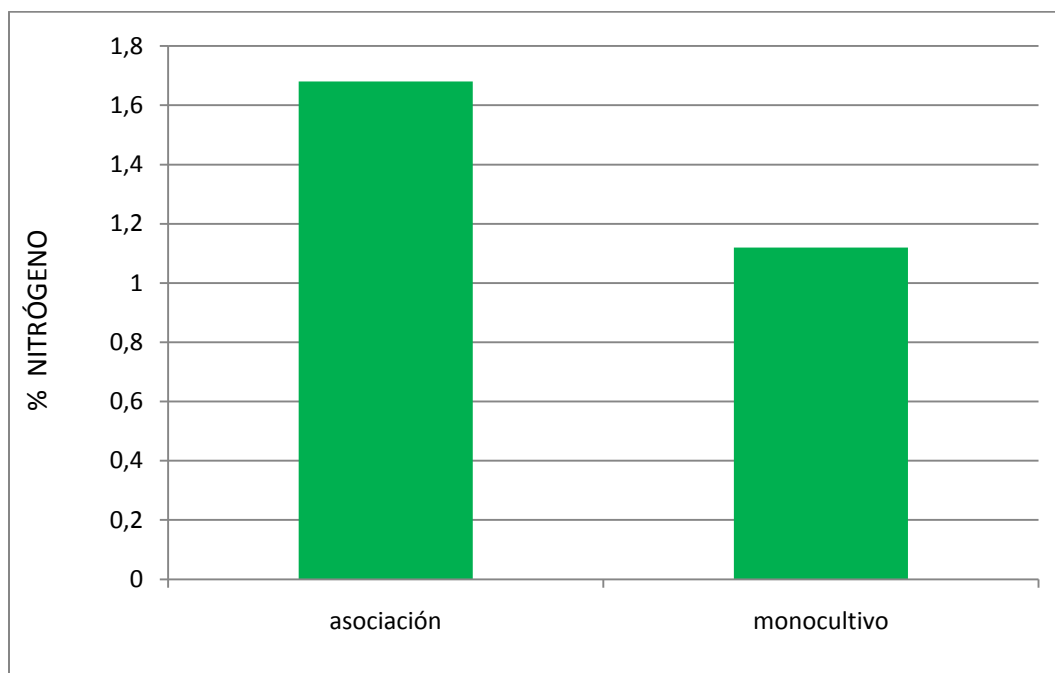
Con respecto al N en raíz, los 10 valores de asociación tuvieron promedio de 1.68% con DS de 0.3, mientras que el monocultivo promedio 1.12% con DS igual a 0.2. Dado que el p-valor para el t-test fue inferior a 0.05, hubo diferencia estadísticamente significativa entre las medias al 5% de nivel de significancia (anexo 2).

De acuerdo con Jones (1998) los valores que se obtuvieron en el análisis de raíz indican que son deficientes en el contenido de nitrógeno, siendo la misma situación que la de tejido foliar, es pertinente mencionar que no se cumple con las concentraciones adecuadas, sin embargo existió un aumento en la concentración de este nutrimento en la asociación de la leguminosa con *Zea mays*.

En las gráficas 6 y 7 se aprecia que los valores son muy similares en cuanto a concentración de nitrógeno para la parte aérea como en la radicular. Generalmente las mayores concentraciones de este nutrimento se mantienen en la parte del grano, tal como lo



encontró Balan (2009), donde se dan resultados de 0,89% en tejido foliar y en el grano de maíz de 1.62%.



Gráfica 7. Nitrógeno en raíz en asociación y monocultivo

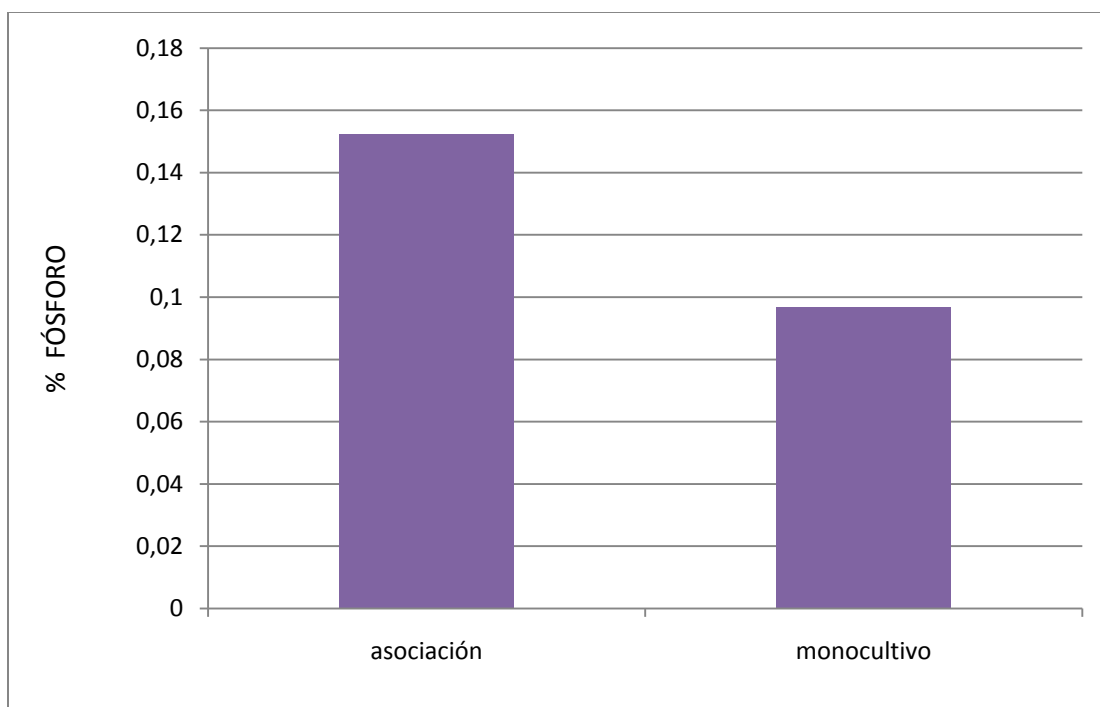
En el caso del fósforo en el tejido vegetal los 10 valores de asociación tienen una media de 0.15% y una DS de 0.06, mientras que los 10 valores de monocultivo tuvieron una media de 0.09% y una DS de 0.04. Dado que el p-valor para el t-test fue inferior a 0.05, hay diferencia estadísticamente significativa entre las medias al 5% de nivel de significancia (anexo3).

De acuerdo con Jones (1998) el rango suficiente de fósforo en el tejido foliar es de 0.25 a 0.5%, los valores que se obtuvieron son deficientes en los dos casos, aun que por parte de la asociación se presenta la misma situación que en el nitrógeno ya que existió un aumento. En la grafica 5 se presentan niveles altos de fósforo en el sustrato por parte de la



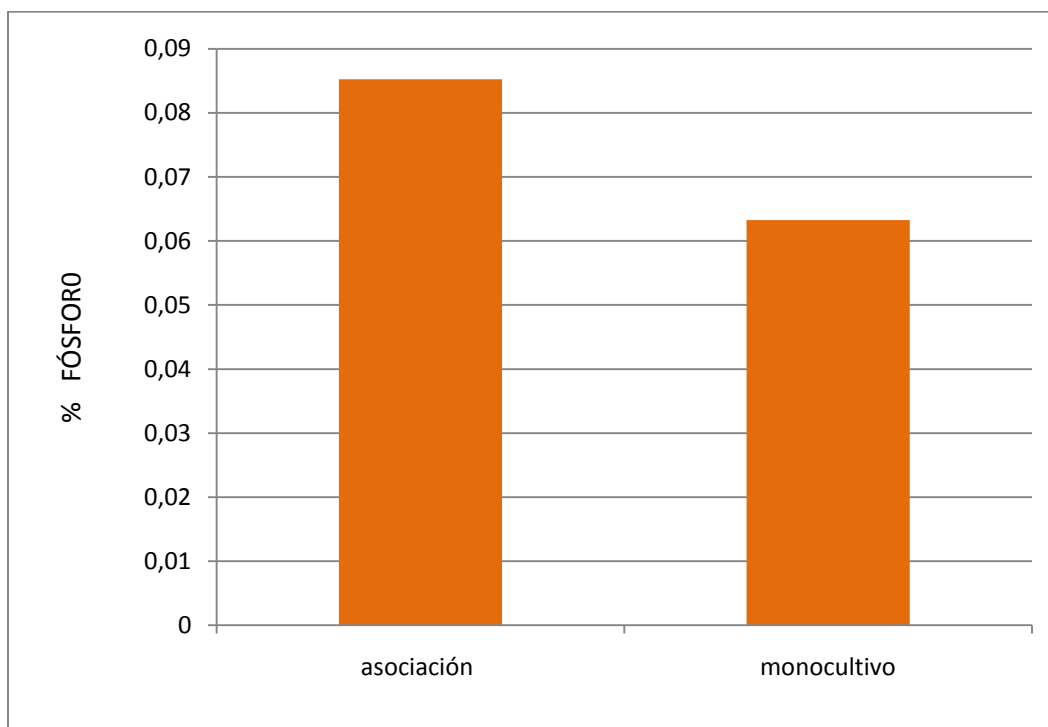
asociación, lo que nos indica que el maíz fue capaz de aprovechar los nutrientes liberados por *Lupinus*.

Balan (2009) utilizó a *Lupinus montanus* en asociación con *Zea mays*, al igual que en este trabajo realizó una comparación entre monocultivo y asociación obtuvo el mismo comportamiento en su análisis de fósforo para tejido vegetal.



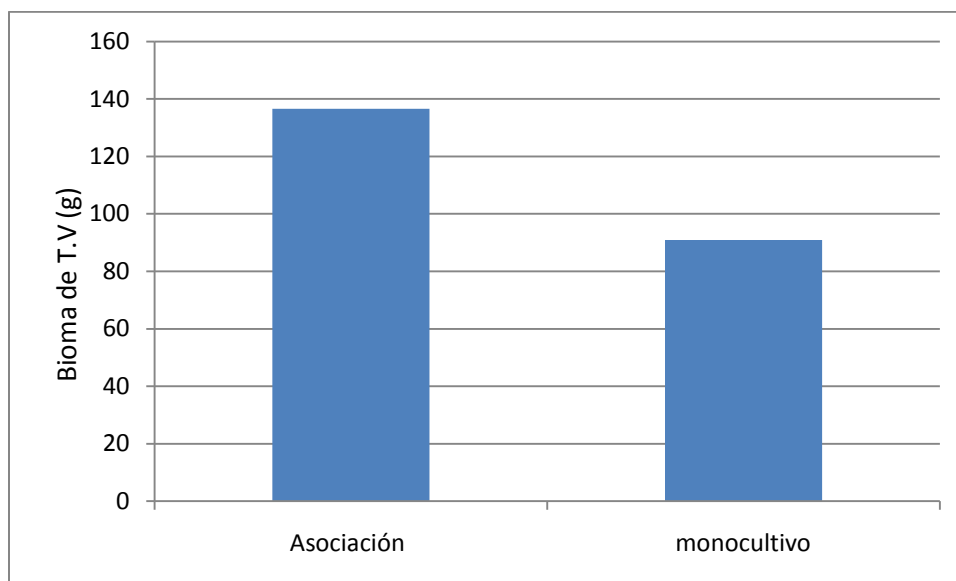
Gráfica 8. Fósforo en tejido vegetal

En el análisis de fósforo realizado en raíz de *Zea mays* (Gráfica 9) no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas, los 10 valores de asociación con un promedio de 0.08% y monocultivo con 0.06% (Anexo 4). De acuerdo con Jones (1998) los porcentajes de fósforo en los dos tratamientos son deficientes.



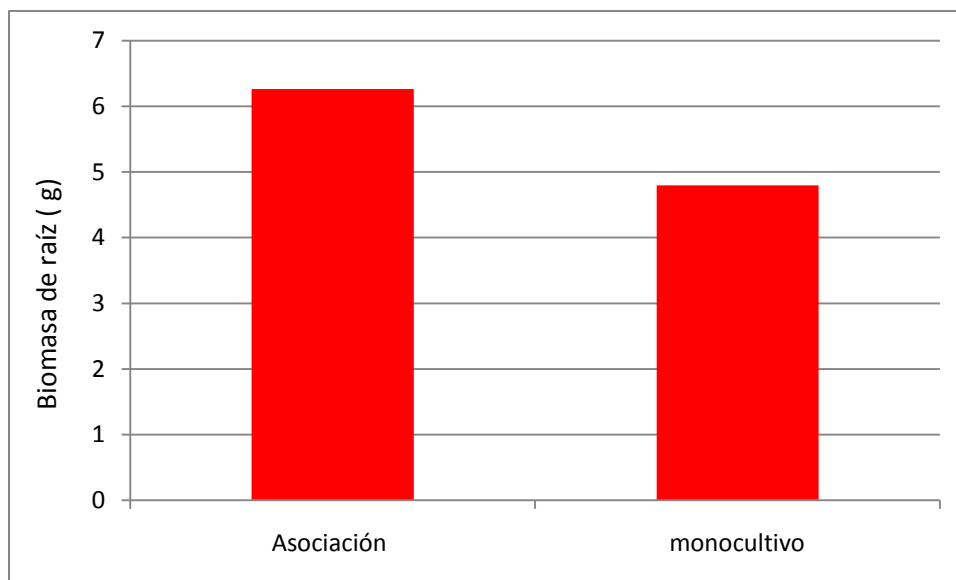
Gráfica 9. Fósforo en raíz para monocultivo y asociación

En la gráfica 10 se aprecia el peso seco de la biomasa vegetal para asociación y monocultivo. Los 10 valores de asociación tuvieron un promedio de 106.5g y DS de 78.2, mientras que los 10 valores de monocultivo un promedio de 91.43g y una DS de 42.1196. Puesto que el valor-P para la prueba-t fue mayor ó igual que 0.05, no existió una diferencia estadísticamente significativa entre las medias, con un 5% de nivel de significancia (anexo 5).



Gráfica 10. Peso Tejido vegetal en asociación y monocultivo

Con respecto al peso de la raíz (Gráfica 11), los 10 valores de asociación tuvieron un promedio de 5.18g y DS de 4.3, el monocultivo un promedio de 4.17g y DS de 1.6. Puesto que el valor-P para la prueba-t fue mayor ó igual que 0.05, no existió una diferencia estadísticamente significativa entre las medias, Anexo 6.



Gráfica 11. Peso de raíz en asociación y monocultivo



A pesar de que el peso en los dos tratamientos no muestra diferencias, existe una mayor concentración de nitrógeno y fósforo en el tejido foliar de la asociación y existen trabajos que respaldan esta investigación.

En trabajos realizados sobre asociación con *Lupinus* se nota un claro aumento de los nutrientes, Rodas (2000), evaluó el efecto de *Lupinus mutabilis* en asociación con *Zea mays* y la eficiencia agronómica de roca fosfórica, el concluyo que la biomasa aérea de maíz y la concentración de P y N vegetal fueron altas, en este sentido la leguminosa mejoro la eficiencia en la disponibilidad de P en la roca fosfórica.

Trabajos como el de Akhtar (2004) donde se realizo una asociación de *Lupinus silvestris* con dos variedades de trigo, en la aplicación de tres fuentes de fósforo, en un suelo calcáreo alcalino, concluyo que la roca fosfórica mejora el rendimiento de trigo cuando se asocia con *Lupinus*, así mismo que la leguminosa disminuye el pH en la rizosfera bajo condiciones de deficiencia de P. Balan (2009) determino la eficiencia de una asociación de *Lupinus mutabilis*- *Zea mays* y en monocultivo de maíz en unas parcelas de los Ejidos de Tlahuac, los rendimientos de los nutrimentos como P y N, presentaron un nivel significativamente mayor en el tratamiento que se encontraba en asociación. Recientemente, Castillo- Caamal et al. (2010) evaluaron tres leguminosas como coberturas asociadas con maíz en el trópico subhúmedo de México. Sus resultados, muestran respuestas similares con esta investigación, desde el punto de vista de nutrición mineral en cuanto a nitrógeno se refiere y a biomasa aérea sobre el maíz, esto confirma la benevolencia de asociar leguminosas y gramíneas, en sistemas tradicionales de agricultura campesina. Por lo cual, estos resultados contribuyen al conocimiento en cuanto a nutrición de las leguminosas y teniendo un efecto positivo para conservar los sistemas agrícolas en forma sostenible a través de los siglos, desde que se inicio la agricultura.

Los trabajos antes mencionados respaldan el presente estudio ya que los resultados obtenidos en tejido vegetal para nitrógeno y raíz en asociación presentaron diferencias estadísticamente significativas en comparación con monocultivo. En el P se registraron concentraciones más altas en asociación que en monocultivo para tejido vegetal, no siendo así en la raíz donde no se presentaron diferencias estadísticamente significativas.



Relacionando los resultados de suelo y las concentraciones del tejido vegetal, se puede decir que la especie propicio un medio óptimo para que las plantas absorbieran mejor los nutrimentos.

Es importante mencionar que la leguminosa creció a diferentes distancias con respecto a la gramínea, es decir, el efecto de la raíz de *Lupinus*, pudo ser diferente debido a la distancia, en el caso del nitrógeno tiene una mayor movilidad dentro suelo y en el caso del fósforo presenta una movilidad mucho menor, esta podría ser una de las razones por las cuales lo nutrimentos no se expresaron de la mejor forma en el tejido vegetal, sin embargo tanto en las muestras de suelo como en tejido vegetal se pueden apreciar las diferencias.

Otro factor que pudo intervenir en las concentraciones de fósforo y nitrógeno tanto en el suelo como en el tejido vegetal son las malas hierbas o mejor conocidas como malezas, ya que estas no se retiraron en ningún momento, existiendo así más competencia intraespecífica entre especies vegetales, al plantear el diseño del trabajo se decidió no retirarlas debido a que muchos de los agricultores no procuran tener los cuidados apropiados en sus cultivos, implica tiempo y dinero, esta es una de las ventajas de la investigación da un análisis real de cómo se encuentra un cultivo en esta zona y del efecto que tiene la leguminosa en condiciones de campo, en la fotografía 6 se muestra las condiciones en las que se encontraba el cultivo pudiendo ser una de las razones por la cual los análisis de tejido vegetal reportan porcentajes bajos en la concentración de los nutrimentos. Tal como lo menciona Gloria Zita Padilla (2010) catedrática de la FES Iztacala, en México el surgimiento de malezas o especies invasoras afecta en promedio el 30 porciento del rendimiento de los cultivos sin embargo puede elevarse hasta un 70 porciento e incluso ser totales, así mismo menciona que la los cultivos más afectados por esta situación son el maíz y el frijol, por regla general, la maleza crece de forma natural, y además con considerable vigor, porque en la mayoría de los casos se trata de especies endémicas adaptadas al medio y por tanto con gran facilidad de extenderse. *Lupinus* es considerada como una maleza en la zona de San Pablo Ixayoc, e incluso tiene un nombre común asignado por la comunidad que es “cola de coyote”, pero acertada es la información



ya que esta especie mejora las condiciones del suelo y como resultado de esto se genera un mayor rendimiento en el cultivo.



Fig. 9. Cultivo en condiciones campo

A nivel mundial la producción de fertilizantes está en aumento. En las estadísticas Internacionales México figura en el lugar 36 con 0.4% de la producción mundial. En el mediano plazo, se espera que la demanda de fertilizante crezca a una tasa constante. En comparación con el consumo promedio registrado entre 2005 y 2007, se proyecta que éste se incremente hacia 2012 una tasa media anual de 3.1%, para alcanzar 194.3 millones de toneladas (FIRA, 2009). La tendencia de este incremento es la de generar más granos por hectárea, aunque esto implique utilizar grandes cantidades de fertilizantes, que por consecuencia genera un serio problema de contaminación.

Ante esta problemática surge nuevamente la opción de intercalar los cultivos debido a que forman parte de una estrategia tendente al logro de una agricultura sostenible por sus



ventajas conservacionistas y porque en su implementación intervienen principios ecológicos que funcionan en ecosistemas naturales estables.

En este trabajo se retoma la tradición de nuestros ancestros que utilizaban los cultivos asociados para aumentar la producción de alimento sin necesidad de deteriorar el medio. Algunas de las ventajas que tiene la asociación de cultivos es que evitan la compactación y erosión del suelo, aumentan el intercambio de nutrientes de forma balanceada, ayudan a aumentar los microorganismos del suelo, reducen los niveles de energía para encontrar más estabilidad productiva, regulan la humedad en los sistemas productivos, reducen la evotranspiración del sistema productivo, hacen que los cultivos se han productivos y sustentables, proporcionan una relación adecuada agua-aire-suelos-raíces (Núñez, 2002).



VIII CONCLUSIONES

La asociación de *Lupinus uncinatus* con *Zea mays* bajo condiciones de campo resulto efectiva, ya que se mejoraron las condiciones del suelo y de biomasa vegetal.

Lupinus uncinatus crece de forma adecuada en los suelos de tipo andisol, aunque trabajos anteriores demuestran que la especie de *Lupinus* se adapta bien a otros suelos, por lo que su implementación en la agricultura proyecta un buen futuro.

Al incorporarse la especie se mejoro el contenido de nitrógeno y fósforo en el suelo y se presentó mayor disponibilidad de estos elementos para *Zea mays*.

A pesar de que no se cumple con las concentraciones óptimas de fósforo y nitrógeno en el tejido vegetal del maíz, se apreció un incremento con la asociación a diferencia del monocultivo.

Las concentraciones de nitrógeno que se encontraron en la raíz en la parte de monocultivo fueron menores que las que se encontraron en la asociación. Este efecto se expreso del mismo modo en el tejido vegetal, siendo mayores en asociación que en monocultivo.

Las concentraciones de fósforo en raíz se mantuvieron sin cambio en los dos tratamientos, pero en el tejido vegetal se pudo apreciar un aumento del nutrimento.

Se concluye que al intercalar *Lupinus uncinatus* con maíz se mejora la calidad del tejido vegetal incluyendo el grano que es donde se encuentra el mayor porcentaje de los dos nutrimentos que se evaluaron. Al introducir esta especie en los cultivos se podrán disminuir las cantidades de fertilizantes químicos que a través del tiempo contaminan el medio ambiente.



ANEXO 1. COMPARACIÓN NITRÓGENO EN TEJIDO VEGETAL

SnapStat: Comparación de Dos Muestras

Variable de Selección: muestras

	asociación	monocultivo
Frecuencia	10	10
Media	1,96	1,204
Mediana	1,82	1,19
Desviación típica	0,406831	0,281551
Mínimo	1,4	0,7
Máximo	2,66	1,54
Asimetría tipi.	1,27141	-0,301571
Curto sis típicada	0,217827	-0,381589

asociación

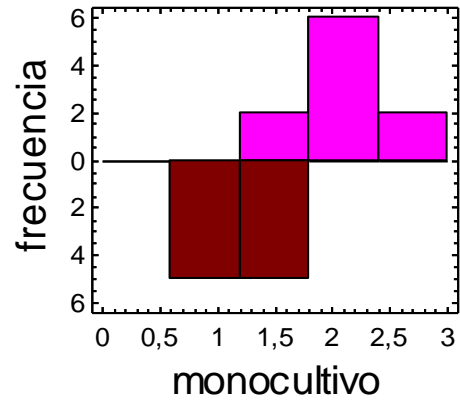
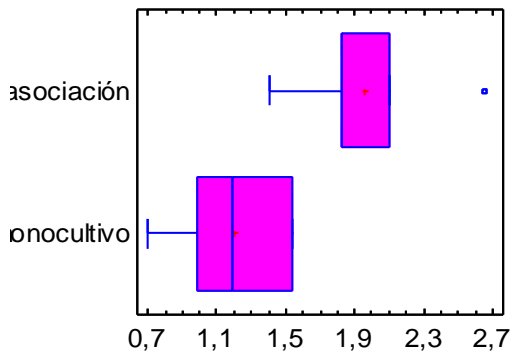


Gráfico de Cajas y Bigotes



95% intervalos de confianza

Dif. de medias: $0,756 \pm 0,328701$ [0,427299, 1,0847]
 Ratio de varianzas: [0,518608, 8,40592]

Comparación de Medias

Hipótesis nula: diferencia = 0
 Estadístico t = 4,83205 Ambos P-valor = 0,0001

Comparación de Sigmas

Hipótesis nula: ratio = 1
 Estadístico F = 2,08791 Ambos P-valor = 0,2880

Diagnósticos

Shapiro-Wilks P-Valor = 0,0248 y 0,3428
 Autocorrelación en Lag 1 = -0,0263 +/- 0,6198, 0,3692

Función de distribución

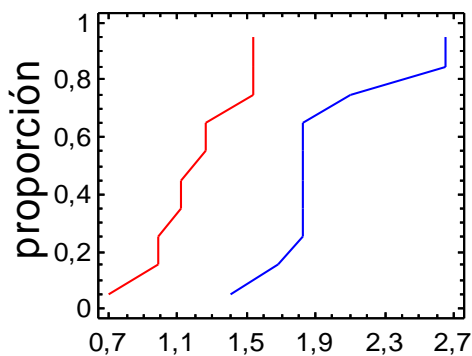
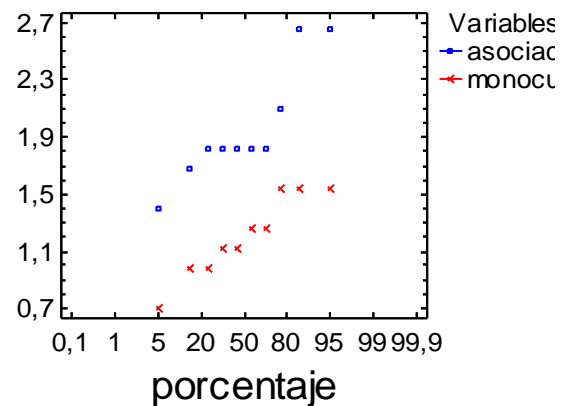


Gráfico de Probabilidad Normal





ANEXO 2. NITRÓGENO EN RAÍZ

SnapStat: Comparación de Dos Muestras

Variable de Selección: muestras	asociación	monocultivo
Frecuencia	10	10
Media	1,68	1,12
Mediana	1,75	1,12
Desviación típica	0,329983	0,246937
Mínimo	1,12	0,7
Máximo	2,1	1,68
Asimetría tipi.	-0,49295	1,17631
Curtois típificada	-0,819966	2,14785

asociación

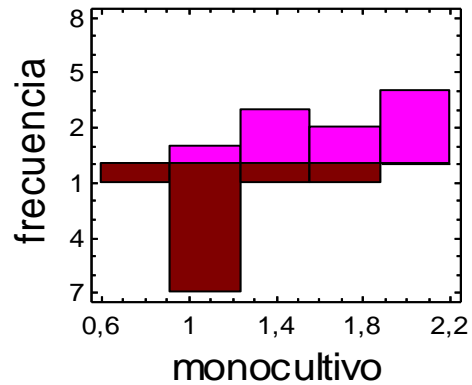
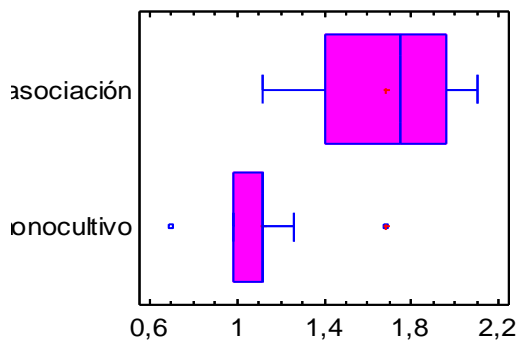


Gráfico de Cajas y Bigotes



95% intervalos de confianza

Dif. de medias 0,56 +/- 0,27382 [0,28618,0,83382]

Ratio de varianzas: [0,443546,7,18928]

Comparación de Medias

Hipótesis nula: diferencia = 0

Estadístico t = 4,29669 Ambos P-valor = 0,0004

Comparación de Sigmas

Hipótesis nula: ratio = 1

Estadístico F = 1,78571 Ambos P-valor = 0,4007

Diagnósticos

Shapiro-Wilks P-Valor = 0,2443 y 0,0518

Autocorrelación en Lag 1 = 0,3200 +/- 0,6198, -0,1071

Función de distribución

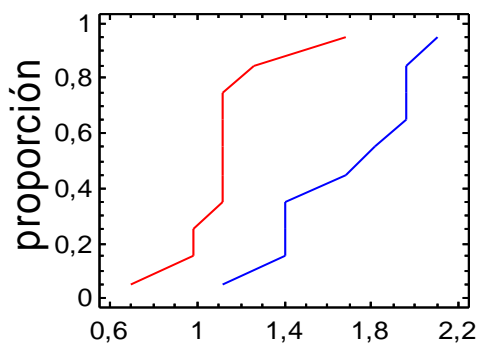
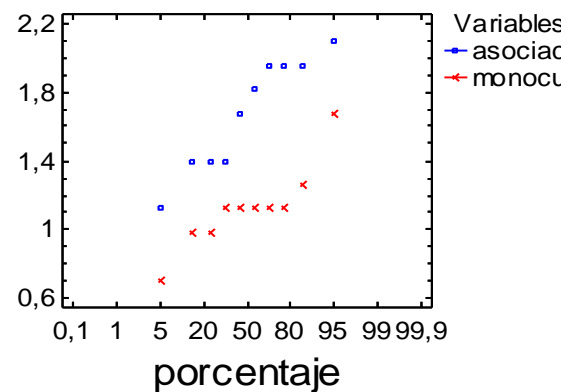


Gráfico de Probabilidad Normal





ANEXO 3. COMPARACIÓN DE FÓSFORO EN TEJIDO VEGETAL

SnapStat: Comparación de Dos Muestras

Variable de Selección: muestras

	asociación	monocultivo
Frecuencia	10	10
Media	0,152399	0,0969041
Mediana	0,142066	0,0912362
Desviación típica	0,061729	0,0442771
Mínimo	0,0645756	0,0387454
Máximo	0,297048	0,154982
Asimetría tipi.	1,73651	0,0772102
Curtois típificada	2,11509	-0,954862

asociación

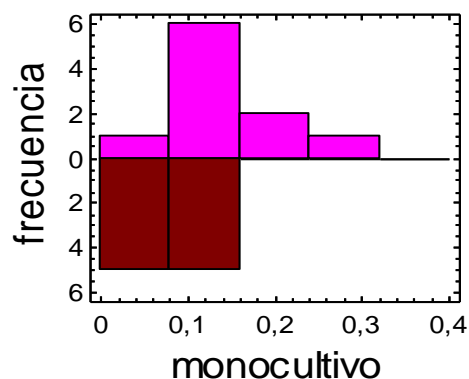
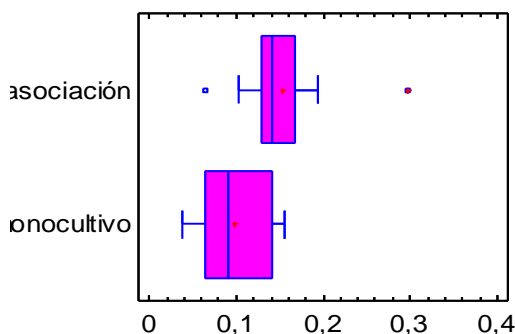


Gráfico de Cajas y Bigotes



95% intervalos de confianza

Dif. de medias 0,0554945 +/- 0,0504701 [0,0050244
Ratio de varianzas: [0,482776,7,82514]

Comparación de Medias

Hipótesis nula: diferencia = 0

Estadístico t = 2,31008 Ambos P-valor = 0,0329

Comparación de Sigmas

Hipótesis nula: ratio = 1

Estadístico F = 1,94365 Ambos P-valor = 0,3365

Diagnósticos

Shapiro-Wilks P-Valor = 0,1398 y 0,3354

Función de distribución

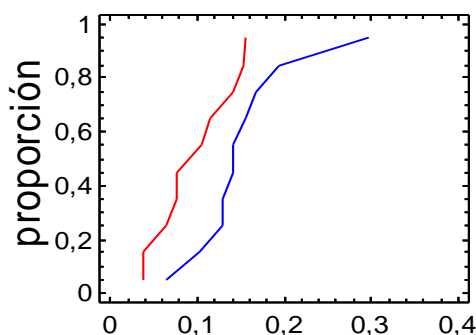
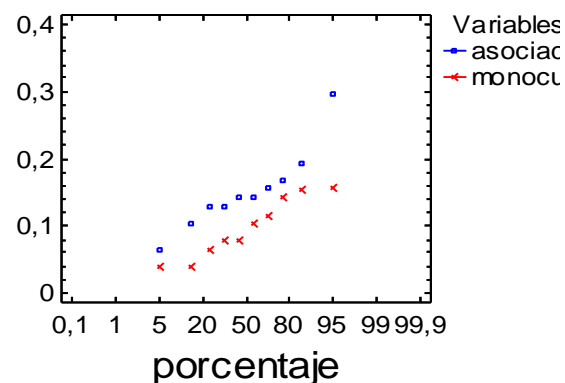


Gráfico de Probabilidad Normal





ANEXO 4. FÓSFORO EN RAÍZ

SnapStat: Comparación de Dos Muestras

Variable de Selección: muestras

	asociación	monocultivo
Frecuencia	10	10
Media	0,0852399	0,0632841
Mediana	0,0710332	0,0645756
Desviación típica	0,0587761	0,0382398
Mínimo	0,0129151	0,0
Máximo	0,219557	0,116236
Asimetría tipi.	1,62901	-0,257799
Curto's tipificada	1,5537	-0,624483

asociación

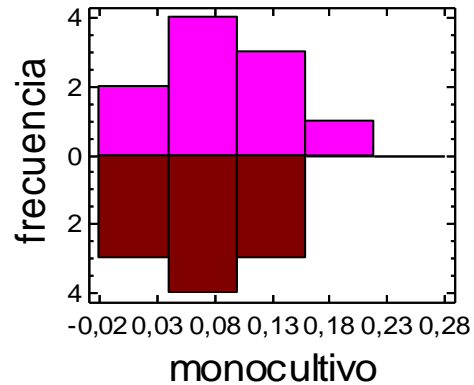
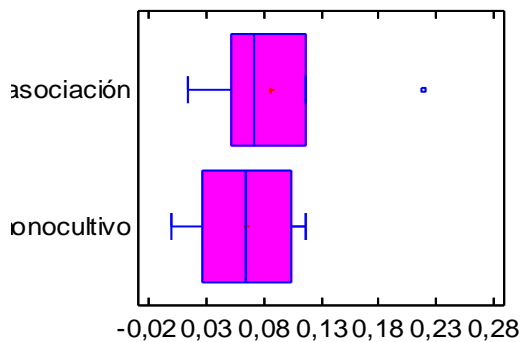


Gráfico de Cajas y Bigotes



95% intervalos de confianza

Dif. de medias: 0,0219557 +/- 0,0465862 [-0,024630
Ratio de varianzas: [0,586808,9,51135]

Comparación de Medias

Hipótesis nula: diferencia = 0
Estadístico t = 0,990151 Ambos P-valor = 0,3352

Comparación de Sigmas

Hipótesis nula: ratio = 1
Estadístico F = 2,36248 Ambos P-valor = 0,2163

Diagnósticos

Shapiro-Wilks P-Valor = 0,2060 y 0,7168

Función de distribución

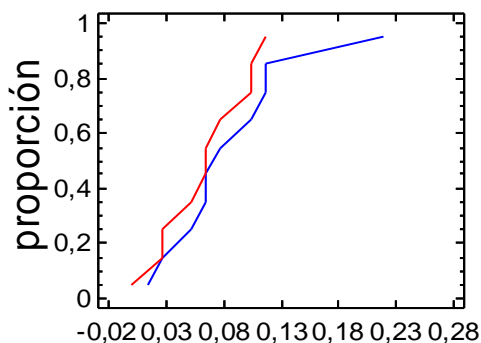
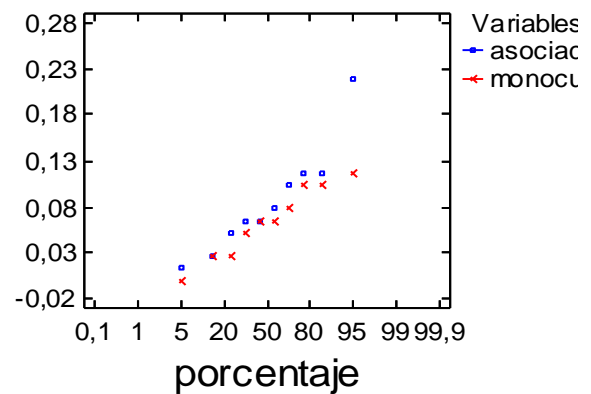


Gráfico de Probabilidad Normal





ANEXO 5. PESO BIOMASA RAÍZ

SnapStat: Comparación de Dos Muestras

Variable de Selección: muestras

	asociación	monocultivo
Frecuencia	10	10
Media	5,18	4,17
Mediana	3,7	4,05
Desviación típica	4,36852	1,67799
Mínimo	1,2	2,5
Máximo	14,5	7,7
Asimetría tipi.	2,01302	1,27188
Curto's típicada	0,956607	0,525867

asociación

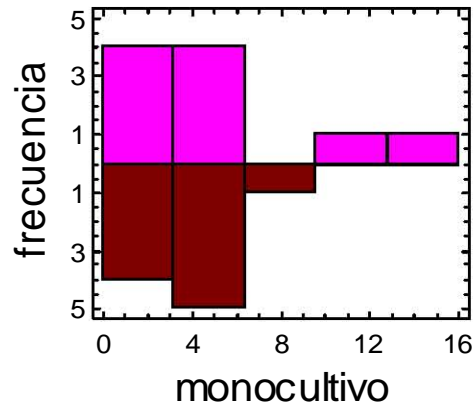
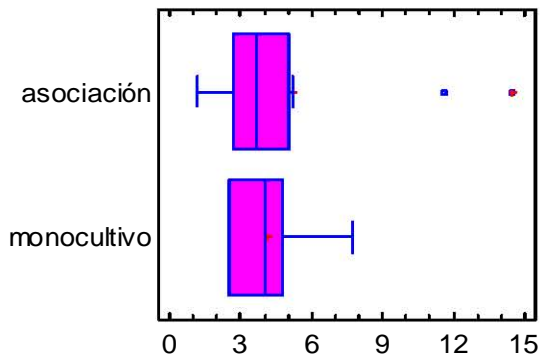


Gráfico de Cajas y Bigotes



95% intervalos de confianza

Dif. de medias 1,01 +/- -3,23673 [4,24673,-2,22673]
 Ratio de varianzas: [1,68351,27,2873]

Comparación de Medias

Hipótesis nula: diferencia = 0
 Estadístico t = 0,6825 Ambos P-valor = 0,5083

Comparación de Sigmas

Hipótesis nula: ratio = 1
 Estadístico F = 6,77779 Ambos P-valor = 0,0088

Diagnósticos

Shapiro-Wilks P-Valor = 0,0098 y 0,1899
 Autocorrelación en Lag 1 = -0,2367 +/- 0,6198, 0,1683 +/- 0,6198

Función de distribución

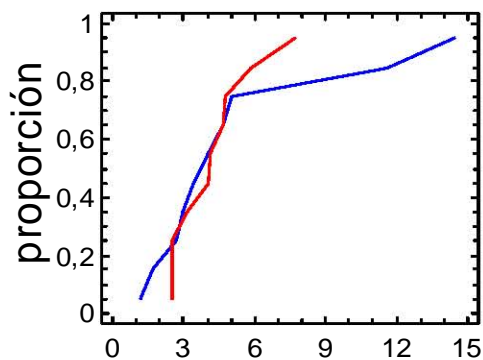
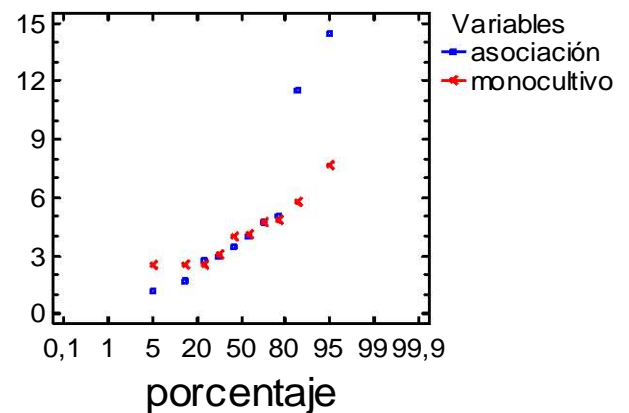


Gráfico de Probabilidad Normal





ANEXO 6. PESO BIOMASA VEGETAL

SnapStat: Comparación de Dos Muestras

Variable de Selección: muestras

	asociación	monocultivo
Frecuencia	10	10
Media	106,53	91,43
Mediana	86,75	78,4
Desviación típica	78,2083	42,1196
Mínimo	31,7	54,7
Máximo	289,5	196,5
Asimetría tipi.	2,16211	2,60999
Curto sis típicada	1,83804	2,8533

asociación

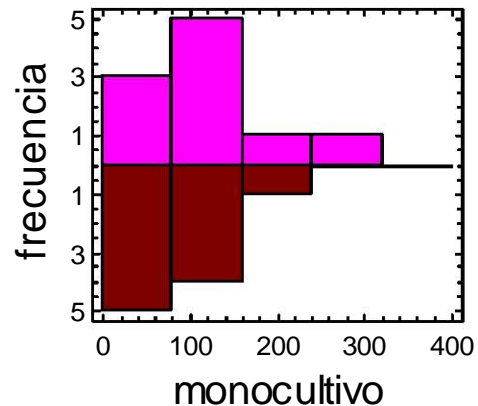
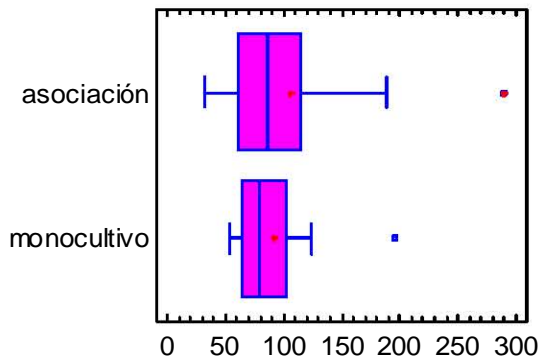


Gráfico de Cajas y Bigotes



95% intervalos de confianza

Dif. de medias: 15,1 +/- 59,0154 [-43,9154,74,1154]
 Ratio de varianzas: [0,856375,13,8807]

Comparación de Medias

Hipótesis nula: diferencia = 0
 Estadístico t = 0,537554 Ambos P-valor = 0,5975

Comparación de Sigmas

Hipótesis nula: ratio = 1
 Estadístico F = 3,44776 Ambos P-valor = 0,0794

Diagnósticos

Shapiro-Wilks P-Valor = 0,0212 y 0,0071
 Autocorrelación en Lag 1 = 0,2055 +/- 0,6198, -0,1099 +/- 0,6198

Función de distribución

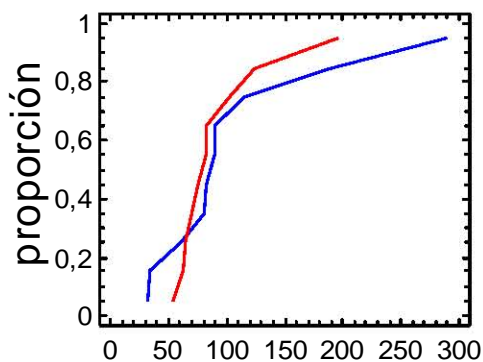
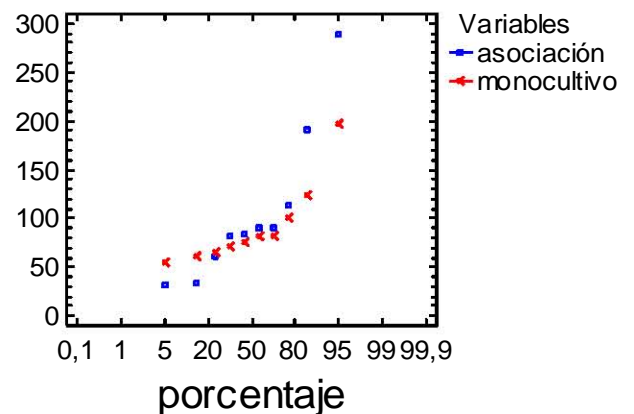


Gráfico de Probabilidad Normal





X. BIBLIOGRAFÍA

Acosta P., J.; Rodríguez T., D. A. 2005. Ecología de la semilla de *Lupinus montanus* H. B. K. Factors affecting germination and pregerminative treatments of *Lupinus montanus* seeds. *Interciencia* 30(9): 576-579.

Aguilar, S.A y L. J. Cajuste. 1987. Retención del fósforo. In: Aguilar, S. A., J. D. Etchevers, B. y J. Z. Castellanos, R. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la ciencia del suelo.

Akhtar, M. 2004. Asociación *Lupinus silvestris* trigo y disponibilidad de fósforo en calcisoles. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillos. México. 6-20p

Alderete. A, 2008. Distribución altitudinal, tratamientos pregerminativos e influencia de *Lupinus spp.* Fertilidad de suelos forestales. Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. 22-44p.

Alderete. A, 2009. Evaluation of two *Lupinus especies* native from Central México in relation with solubilization of nitrogen, phosphorus and potassium in an andosol. *Journal of Applied Sciences* 9(8): 1583-1587.

Altieri, M. 1990. Sistemas agroecológicos alternativas para la producción campesina. Primer encuentro Agroecológico de América Latina y del Caribe. Cochabamba, Bolivia. pp 4-36.

Altieri, M. 2007. Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas. Editorial Icaria. Barcelona. 247p.

Alvarez, V. A. 1982. Efecto de los factores cantidad, intensidad y capacidad amortiguadora de fosfato en la evaluación del fósforo disponible, de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca. Estado de Michoacán. Tesis Doctorado. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Texcoco, Estado de México.



Argel, P. J. 1996. Contribución de las leguminosas forrajeras tropicales a la producción animal en sistemas semi-intensivos de pastoreo. Pastoreo intensivo en zonas tropicales, Primer Foro Internacional, Banco de México. FIRA. Veracruz, México del 7 al 9 de Noviembre.

Balan. H. L. 2009. El uso de reemplazamiento para evaluar la asociación de *Zea mays* y *lupinus montanus* en un ejido de tlahuac. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza. D.F. 47-58p.

Barrientos, L., Montenegro, B y Pino A. 2002. Evaluación de la fijación simbiótica de nitrógeno de *lupinus albus* y *lupinus angustifolius* en un andisol vilcun del sur de Chile. Terra 20: 39-44.

Becerra, J. 1986. Leguminosas forrajeras tropicales. Actualización sobre producción de forrajes en la costa del Pacífico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. México. pp. 1-19.

Bekele, T., Cino, B.I., Ehlert. P. A., Vander Maas, A.A. and Van diest, A. 1983. Phosphorus Availability to plant from low solubility compounds. Plant Soil 75: 361-378.

Bermúdez TK, Robledo QN, Martínez HJ, Andreas J, Wink M (2000) Biodiversity of the genus *Lupinus* in Mexico. En van Santen E, Wink M, Weissmann S, Römer P (Eds.) *Lupin, an Ancient Crop for the Millennium*. Proc. 9th Int. Lupin Conference. Klink/Muritz, 20-24/06/1999. International Lupin Association. Canterbury, New Zealand. pp. 294-296.

Bremner, J. M. 1965. Methods of soil analysis. Ed. Black. Madison, Wisconsin. 1149-1178p.

Calderón de Rzedowski, G y J. Rzedowski 2005. Flora fanerógamica del Valle de México. Comisión Nacional para la Biodiversidad- Instituto de Ecología. pp 290-300.

Castillo-Caamal. 2010. Evaluación de tres leguminosas como coberturas asociadas con maíz en el trópico subhúmedo. *Agronomía Mesoamericana*. 21(1):39-50.



Dunn DB (2001) *Lupinus*. En Calderón G, Rzedowski J (Eds.) *Flora Fanerogámica del Valle de México*. 2ª ed. Instituto de Ecología. Pátzcuaro, México. pp 326-333.

Dehgan, B., G. Jeffrey, S. Norcini, M. Kabat and H. E. Pérez. 2003. Effect of Seed Scarification and Gibberellic Acid Treatment on Seedling Emergence of Sky-Blue Lupine (*Lupinus diffusus*). *Journal of environment Horticulture* 21: 64-47.

Dinkelaker, B., Romheld, V., and Marchner, H. 1989. Citric acid precipitation of calcium citrate in the rhizosphere of White lupin (*L.albus*). *Plant, Cell and Enviroment*. 12:285-292.

Ehsan. M., 2007. Contamination time effect on plant available fractions of cadmium and zinc in a mexican clay loam soil. *J. Appl. Sci* 7(16), 2380-2384.

Etchevers, J. D. 1985. Un cuarto de siglo de investigación en los suelos volcánicos en México. Serie de cuadernos de Edafología. No. 1, Centro de edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México.

Eusse, B. J. 1994. Pastos y Forrajes Tropicales. 3ª Edición. Banco Ganadero, Santa Fé de Bogotá, D. C., Colombia. p. 320-420.

FAO, 1997. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.

FIRA. 2009. El mercado de los fertilizantes en México: Situación actual y perspectivas.

Fleury, A. 1979. Cereales. *Gran Larousse univerrsal*. Vol. 9:2621-2622. Plaza & janes, S.A., USA.

García E, R; Quiroga M, R; Granados A, N. 1994. Agroecosistemas de productividad sostenida de maíz, en las regiones cálidohúmedas de México. *In* Thurston, Smith, Abawi, Kearl. eds. *Tapado: los sistemas de siembra con cobertura*. CATIE y CIIFAD. p. 97-108.



Gardner, W. K. and A. Boundy. 1983. The acquisition of phosphorus by lupinus albus L. IV. The effect of interplanting wheat and White lupin on the growth and mineral composition of the two species. *Plant and soil*: 70: 391-402.

Galindo, Z. 1996. El Tarwi como fuente de proteína. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México. 2-18p.

González, A.U. 1995. El maíz y conservación. Ed. Trillas primera edición Mexico. Pag 12.

Gliessman, S. R., and Amador, M.A. 1980. Ecological aspects of production in traditional agroecosystems in the humid lowland tropics of México. En *D-opicall ecology and development*. Ed. ISTE, Kuala Lumpur. pp. 601-608.

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. 236p.

Gukova, M. M.; E. K. Lavrova, and V. S. Ageeve. 1971. Utilization of N from atmosphere and fertilizers by lupine. *Referativnyi Zhurnal*. 55:589.

Hare, M. D., I. E. Gruben, P. Tatsapong, A. Lumpha, M. Saengkam and K. Wongpichet. 2004. Inter-row planting of legumes to improve the crude protein concentration in *Paspalum atratum* cv. Ubon pastures in north-east Thailand. *Tropical Grasslands*. 38: 167-177.

Hernández, S. R., O. P. Jaime., J. G. Régul y H. Elías 2005. Manejo de praderas asociadas de gramíneas y leguminosas para pastoreo en el trópico. *Revista Electrónica REDVET*. <http://www.veterinaria.org/revista/redvet/n050505.html>.

Hinsinger, P., and Gilkes, R. J. 1995. Root induced dissolution of phosphate rock in the rizosphere of Lupins grow in alkaline soil. *Aust. J. Soil Res*. 33:477-489.

Humphreys, L. R. 1991. *Tropical pasture utilization*, Cambridge University Press. Cambridge, UK. p. 1-172.



Instituto de la Potasa y el Fosfato. 1997. Manual Internacional de la Fertilidad del Suelo. INPOFOS, Quito, Ecuador.

Jackson, M.L. 1964. Análisis químico de suelos. Traducción al español por J. Beltrán M., Omega, Barcelona, España.

Jones, J.B. 1998. Interpretation of plant analysis for several agronomic crops. In Soil testing and plant analysis, Part II, Plant Analysis, SSSA Special Publication No. 2, Soil Science Society of America, Madison. P- 49-58.

Jurado, E. and J. Flores. 2005. Is seed dormancy under environmental control or bound to plant traits. *Journal of Vegetation Science* 16: 559-554.

Laird, R. J. 1984. Veinticinco años de investigación agrícola en la Sierra Tarasca en el Estado de Michoacan. Segunda edición. In: A. Trinidad S. y O. J. Miranda. Eds. Seminario sobre suelos ando y sus implicaciones en el desarrollo agrícola de la Sierra Tarasca. Colegio de Posgraduados, Chapingo, Texcoco, Estado de México.

Liebman, M. 1997. Sistemas de policultivos. Pp. 133-141. En: *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. M. A. Altieri (ed). CLADES-Grupo Gestor Asociación Cubana de Agricultura Orgánica, ACAO, La Habana, Cuba.

López- Ballido, L. and M. Fuentes 1986. Lupin crop as an alternative source of protein. *Advances in agronomy* 40:239-235.

López, I. 1995. Rhizobium y su destacada simbiosis con las leguminosas. Centro de investigación sobre la fijación del nitrógeno. UNAM. 1-7p.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2° ed, Academic Press, NewYork. 674 p.



Marshner, H., Romheld, V., and Kakmak, I. 1987. Root induced changes in nutrient availability in the rizhosphere. *J. Plant Nutr.* 10:1175-1184.

McVaugh R (1987) *Lupinus*. En *Flora Novogaliciana. A Descriptive Account of the Vascular Plants of Western Mexico*. Vol. 5. *Leguminosae*. University of Michigan Press. Ann Arbor, EEUU. 580-599. pp.

Mburu, M. 2003. Effects of Mucuna Planting Density and Time on Water and Light Use in a Maize-Legume Intercrop System. Legume Research Network Project Newsletter. Kenya Agricultural Research Institute. Nairobi. Issue No. 9.

Mead, R., and Willey, R. W. 1980. The concept a land equivalent ratio and advantages in yields from intercropping. *Exp. Agric.* 16: 217-228.

Minson, D. J. 1991. Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press, San Diego, CA, p. 483.

Mujica, A. 1990. Investigación y producción del tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) en el Perú. INIAA, PICA. Lima.

NOM-021-SEMARNAT.2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial, 31 de Diciembre del 2002.

Navas P. B. y D. Marín. 1995. Comportamiento ecofisiológico de la asociación canavalia-maíz con y sin aplicación de nitrógeno y con diferentes arreglos cronológicos. *Agronomía Trop.* 45(4):609-635.

Núñez, M.A. Manual de Técnicas Agroecológicas. PNUD-IPIAT Merida, Venezuela.2002.

Olsen, S. R., and L.A. Dean. 1965. Phosphorus. Pp. 1035-1049. In: C. A. Black (ed.) *Methods of soil analysis*. Part 2. *Agronomy* 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.



Ortega F.E. Química de suelos. UACH, 1978. p 105,107

Ortiz, C. 1981. Evaluación de la aptitud de las tierras de México para la producción de Maíz, frijol y sorgo bajo condiciones de temporal. Colegio de Postgraduados. Chapingo. Estado de México.

Ortiz S., C. A. y H. E. Cuanalo de la C. 1977. Levantamiento fisiográfico del área de influencia de Chapingo. Colegio de Posgraduados, Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, Estado de México. 83p.

Padilla, Z. P. 2010. Periódico la Jornada. México, 18 de Marzo del 2010.

Palma T., A. 1996. Tipología del uso forestal de la tierra de la región norte de la sierra nevada y su cartografía. Tesis, Colegio de Posgraduados, Montecillo, Estado de México. 103p.

Pholhill, R.M, 1981. Advances in Legume Systematics. Royal Botanical Gardens: 1:1-26p.

Pool, N. L., N. S. León M, C. González S y P. Figueroa. 1998. Fríjol terciopelo, cultivo de cobertura en la agricultura CHOL del valle de Tulija, Chiapas, México. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. 16(004): 359-369.

Quiroz A.I y Marín D, 2003. Rendimiento en granos y eficiencia de una asociación Maíz (*Zea Mays*) y Quinchoncho (*Cajanus cajan*) con o sin fertilización. Bioagro 15(2): 121-128p.

Reyes C.P. 1990. El maíz y su cultivo. Ed. A.G.T. S.A. primera edición, Mexico. Pag 110-130pag.

Richards, L.A., 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. 6ª. Ed; Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América. Limusa, México, D.F.



Riverol. M. 1997. Asociaciones maíz-leguminosas: su efecto en la conservación de la fertilidad de los suelos, *Agronomía Mesoamericana*. 8(1): 65-73.

Ríos, A. S. and W. D. Pitman 2001. *Tropical Forage Plants Development and Use*. CRC press. LLC, Boca Ratón, Florida. p. 219-251.

Rodas. C. A. 2000. Interaccion *Lupinus mutabilis* – *zea mays* en la nutrición fosfatada en un andosol. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados. Montacillos. Mexico. 15-17, 33-37 p.

Rodríguez. R. A. 2000. Incidencia sobre el suelo de las emisiones de dos plantas incineradoras de RSU's (la palma, canarias).-i) efectos sobre las características generales del suelo. *Edafología*.7-3. p 319-326.

Rodríguez. Suppo. F. 1982. *Fertilizantes Nutrición Vegetal*. Editorial AGT. México. P 35-40.

Rodríguez, T., y Rojo Z. 1997. Estudio de la semilla del arbusto *Lupinus montanus* H:B:K. (leguminosae). *Revista de Chapingo. Ciencias Forestales* iii (1): 39-45.

Ruiz, L.M.A., M. R. Rodríguez and P.S. Navarro, 2006. Evaluación química-nutricional del *Lupinus exaltatus* Zucc, Del Nevado de Colima, México, como fuente potencial de forraje. *Interciencia*, 31(10): 1-7.

SAGARPA. 2009. Modelo Escenario Base.2009-2018 Proyecciones para el sector Agropecuario de México.

Sánchez, A. 1998. Leguminosas como potencial forrajero en la alimentación bovina. FONAIAP. Estación Experimental del Estado de Falcón, Venezuela. (7117. Ceniap.gov.ve/publica/divulga/fd50/leguminosas.htm).



Sánchez-González, and López-Mata 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la Sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. Anales del Instituto de Biología UNAM. Serie Botánica.

Shepherd, K. R. 1986. Plantation silviculture. Martinus Nijhoff Pub. Dordrecht. 322 p.

Skerman, P. J. 1991. Gramíneas tropicales. Colección FAO: Producción y protección vegetal 23:1-730.

Smith O. B. and M. F. Van Houter 1987. The feeding value of *Gliricidia sepium*. A reviews. World Animal Review 62:57-58.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Universidad autónoma de Chapingo. p 137-145.

Sousa, S. M. 1986. Listado florístico de México IV. Flora de Chiapas: 90-112. Instituto de Biología, UNAM, México.

Sousa, S. M y A. Delgado S. 1998. Leguminosas mexicanas. Diversidad biológica de México: orígenes y distribución: 449-500. Instituto de biología UNAM, México.

Sosa, V. y P Dávila. 1994. Una evaluación del conocimiento florístico de México. Ann. Missouri Bot. Gard. 81:749-757.

Urbano, D. y C. Dávila. 2005. Leguminosas arbóreas para optimizar la producción de leche y carne. Manual de Ganadería Doble Propósito. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícola (INIA). Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela.

Vandermeer, J. 1989. The Ecology of Intercropping. Cambridge University Press. 273p.

Vandermeer, J. 1995. Los policultivos. La teoría y evidencia de su facilitación. 253p.



Walker, L. R., B. D. Clarkson, W. Silvester and B. R. Clarkson, 2003. Facilitation outweighs inhibition in pos-volcanic primary succession in New Zealand. *J. Veg., Sci.*, 14: 277-290.

Willey, R.W. 1979. Intercropping. Its importance and research needs part I. Competition and yield advantages. *Field Crops Abstrac.* 32(1):1-10.

Yagodina, M. S. and E. L. Verevkin. 1978. Intensity of nitrogen fixation in presence of different doses of mineral nitrogen. *Biol. Bull. Acad. Sci.* 107: 194-202.

Jones, J.B. 1967. Interpretation of plant analysis for several agronomic crops. In *Soil testing and plant analysis, Part II, Plant Analysis*, SSSA Special Publication No. 2, Soil Science Society of America, Madison. p 49-58.