

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA



CARRERA DE BIOLOGO

AREA DE EDAFOLOGIA

El uso de reemplazamiento para evaluar la asociación de Zea mays y Lupinus montanus en un ejido de Tlahuac, D.F

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE:

BIOLOGO

PRESENTA:

BALAN HERNANDEZ LAURA L.

Director de Tesis:

Dr. VICENTE ESPINOSA HERNANDEZ

Asesor Interno

Dr. GERARDO CRUZ FLORES



MEXICO, D.F.

2009



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

Biol. Elvia García Santos

Dr. Vicente Espinosa Hernández

Dr. Gerardo Cruz Flores

Biol. J. Rubén Zulbarán Rosales

M. en C. Rosalía García Santos

Les doy las gracias a todos ellos por el tiempo y apoyo brindado; ya que su conocimiento y paciencia hicieron que este proyecto pudiera realizarse, y logrando en mí un mayor crecimiento.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme dado la oportunidad de crecer en el ámbito profesional así como la facilidad que me dio para crecer.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por haberme dado conocimiento para lograr mis cometidos.

Al Dr. Vicente Espinosa Hernández, sin cuya confianza hubiera sido imposible la realización de esta tesis. Le agradezco el conocimiento, el tiempo, su capacidad de trabajo, su fuerza de voluntad y su presencia de ánimo ante mis incontables errores. No sólo le debo los conocimientos científicos sino también otros que sin duda podrán ayudarme a salir airoso de situaciones que te impone la vida. Sin duda esto y otras cosas que he aprendido me servirán para, como él, ser mejor cada día. Gracias por haber formado parte de este trabajo.

Al Dr. Gerardo Cruz Flores, por todo el conocimiento, tiempo y apoyo brindado para lograr de esto un buen trabajo.

A Ricardo Guerrero Ortiz, ya que gracias a todo su apoyo y confianza incondicional han sido indispensables para llegar hasta aquí, sobre todo por estar siempre dispuesto a ayudarme y por no haber mostrado algún signo de fastidio ante mis innumerables solicitudes de ayuda, pero sobre todo por todos los buenos y malos momentos que he pasado a tu lado ya que ellos me han hecho más fuerte, sinceramente muchas gracias por todo.

Agradezco al Sr. Juan Galindo y la Sra. Ángela Vázquez por haberme dado la oportunidad de trabajar en un espacio de su familia, y muchas gracias por la ayuda que me brindaron, así como el tiempo que me proporcionaron y todas las mojadás que aguantaron. Gracias.

A la Universidad Autónoma Chapingo, pero principalmente al laboratorio de física y química de suelos a cargo del M.C. Edmundo Robledo y sus colaboradores, por permitirme trabajar y realizar parte de este trabajo, agradeciendo principalmente su tiempo y apoyo brindado.

Así mismo, agradezco al Colegio de Postgraduados y trabajadores ya que me dieron la facilidad y sobre todo me brindaron parte de su tiempo para lograr que pudiera cumplir con este trabajo.

Adrián, Nagchielli, Alejandro, Carlitos y Sac mis súper amigos de la Universidad, gracias por todo el apoyo brindado, los momentos locos e inolvidables que pasamos y sobre todo por brindarme su amistad incondicional que me ha ayudado a seguir en momentos difíciles. Gracias amigos.

DEDICATORIA

A mis padres Jorge Balan Romero y Esodia Hernández Vázquez, las personas más importantes de mi vida, gracias a su amor, paciencia, apoyo pero sobre todo la confianza que me han brindado, me ha ayudado a llegar hasta este punto de mi vida. Muchas gracias por guiarme por el camino correcto ya que sus enseñanzas y sus jalones de oreja me han instruido ha ser una buena persona. Ustedes me han mostrado que los pequeños fracasos de la vida sólo son la oportunidad de comenzar de nuevo con más inteligencia. Su particular visión de la vida me ha sabido enseñar como los mejores maestros; pueden estar seguros de que su enorme sabiduría la sabré aprovechar y la mantendré en mi corazón para ser mejor persona cada día. Ahora que me encuentro en este punto tan importante de mi vida me doy cuenta que ustedes son los pilares en los cuales yo me he apoyado para cumplir mis metas y son ustedes quienes me han dado las bases para defenderme de este mundo lleno de carencias.

Ustedes me han dado los medios y la confianza necesaria para poder elegir y desarrollar libremente todo aquello que ha hecho posible que mi vida personal y profesional sea plenamente feliz.

Gracias por darme la vida, la fuerza y la inteligencia para estar aquí. Este trabajo es para ustedes es el resultado del gran esfuerzo que han hecho para lograr para lograr esto; su ayuda ha sido un motor de incalculable valor. Los amo

A mis hermanas Lupe y Alma esas personas tan especiales e importantes para mí, que siempre me han impulsado a seguir y que son el motivo por el cual yo me esfuerzo cada día; gracias por ser mis hermanas, por cuidarme y sobre todo gracias por aguantar mis locuras, las quiero mucho nunca lo olviden.

A mi hermanito mayor David Aguilera que siempre me ha dado aliento en todos los momentos que lo he necesitado, muchas gracias por brindarme tu apoyo y amistad ya que son muy importantes para mí.

A mis tres chuparritas, Brenda, Lillian y Mariana y mi próximo angelito que son mi inspiración para seguir creciendo.

A Ricardo por que has sido alguien muy importante no solo en este proyecto sino en mi vida; ya que a tu lado he pasado momentos maravillosos que me han fortalecido y me han impulsado a seguir y no quedarme en el camino; pero sobre todo agradezco la paciencia y la confianza que has depositado en mí por que eso me ha llevado a ser mejor. Eres el amor de mi vida, y la persona que siempre había esperado; gracias por todo lo que me has dado y sobre todo por estar a mi lado. Te amo

Por último quiero agradecer a todas aquellas personas que, por uno u otro motivo, jamás creyeron ni creen en mí su ignorancia y necedad también me han ayudado para llegar hasta aquí y me animan a continuar.



INDICE

Contenido	Página
Resumen	1
I. Introducción	2
1.1 Antecedentes	5
1.2 Planteamiento del problema	9
1.3 Justificación	10
1.4 Hipótesis	10
1.5 Objetivos	11
II. Revisión de Literatura	12
2.1 Asociaciones	12
2.2 Generalidades de las gramíneas	14
2.3 Generalidades de las leguminosas	15
2.4 Nitrógeno.	16
2.4.1 Importancia del nitrógeno en las plantas	17
2.5 Fósforo	18
2.5.1 Importancia del fósforo en las plantas	19
2.6 Características generales de <i>Zea mays</i>	20
2.7 Características generales de <i>Lupinus montanus</i>	22
2.8 Proceso de nodulación	30



2.9 Series de Reemplazamiento	. . . . .	32
III. Localización y descripción del área de estudio	. . . . .	34
3.1 Caracterización de la zona de humedales	. . . . .	35
IV. Materiales y métodos	. . . . .	40
V. Análisis y discusión de resultados	. . . . .	47
5.1 Discusión general	. . . . .	59
VI. Conclusiones	. . . . .	68
VII. Anexos	. . . . .	70
VIII. Bibliografía	. . . . .	79



RESUMEN

Con la finalidad de determinar la eficiencia de una asociación, en donde se estableció la comparación de un sistema en asociación maíz- lupinus y en monocultivo de maíz en parcelas de los ejidos de Tlahuac; conocidos comúnmente como “humedales de Tlahuac”, realizando una simulación en campo de las series de reemplazamiento y al mismo tiempo usando un diseño al azar, se empleó la misma densidad en monocultivo y asociación 27 plantas de gramínea así como 27 plantas de la leguminosa. Ahora bien los rendimientos en la cantidad de nutrimentos tales como fósforo y nitrógeno, presentaron un nivel significativamente mayor en aquellos tratamientos que se encontraban en asociación que en monocultivo, presentado principalmente en los granos del maíz.



I. INTRODUCCION

La asociación de cultivos es una práctica común en muchos de los países subdesarrollados, cuya racionalidad supone una mejor utilización del recurso más limitado. Estos consisten en la siembra de dos o más especies que comparten el mismo terreno durante todo su ciclo o parte del mismo, optimizando el uso de suelo cuando este recurso se encuentra limitado, es decir utilizando los recursos presentes más eficientemente; mediante una intensificación espacial y temporal. De esta manera se logra una mayor estabilidad en la producción, por cuanto si una especie falla, las otras pueden permitir una compensación alimenticia y/o económica para los agricultores quienes tratan de lograr el mayor número posible de productos agrícolas. De igual manera, presentan una menor incidencia de plagas y enfermedades así como un mejor control de malezas, lo anterior se encuentra considerado entre las ventajas de las asociaciones, mientras que una de las desventajas radica en la mayor complejidad para el manejo de los cultivos y limitación para la mecanización de las labores (Arias *et al.*, 1983).

En consecuencia, dicho sistema incluye la competencia interespecífica además de la intraespecífica propia de los monocultivos (Valdivia, 1994). Aunque se trata de formas de cultivo muy antiguas y variadas, evolucionadas empíricamente su funcionamiento implica la intervención de conceptos ecológicos e interacciones complejas, que es tan sólo siendo dilucidadas mediante el enfoque ecofisiológico (Ofori y Stern, 1987).



Los cultivos asociados representan una forma de incrementar la variedad de productos cosechados por unidad de superficie y son ampliamente utilizadas en ambientes tropicales y subtropicales y a que proporcionan un ingreso adicional al agricultor en la misma unidad de terreno. Entre los beneficios que sustentan el empleo de asociación de cultivos, se encuentra una mayor eficiencia en el uso de los recursos edáficos y climáticos, así como ventajas relativas a la distribución temporal del trabajo de mantenimiento, en función de los requerimientos particulares de las especies asociadas (Willey, 1979).

La combinación de especies con distinto ciclo y diferentes requerimientos hídricos, lumínicos y nutricionales, mejora los rendimientos a través de un mejor uso de los recursos disponibles en tiempo y espacio, aunque el manejo del sistema es más complejo con limitaciones para la mecanización de las labores (Vandermeer, 1992).

El crecimiento simultáneo se lleva a cabo durante toda o una parte del ciclo de las vidas de los cultivos; esta práctica comúnmente utilizada por los pequeños agricultores que permite una mayor utilización del terreno, un menor riesgo de pérdida total por cualquier factor de estrés físico o enfermedades de una de las especies, provee estabilidad en la producción y una mejor distribución del trabajo durante el año (Mutsaers et al, 1993; Shaxson y Tauer, 1992).

Los cultivos asociados forman parte de una modalidad agrícola más amplia basada en el empleo de varias especies en vez de una sola, y que se denomina cultivos múltiples, la cual incluye adicionalmente a los sistemas agroforestales, que combinan cultivos anuales con árboles (por ejemplo maíz entre calles de *Leucaena* o *Gliricidia*), los silvopastoriles que emplean gramíneas forrajeras y árboles, los "jardines creoles" de las Antillas (similares a los "conucos" indígenas venezolanos) y otros tipos de policultivos (Baldy et Stigter, 1993).



Con la asociación de cultivos se busca mejorar la eficiencia de uso del suelo, el balance proteína-energía, la estabilidad del sistema y reducir el riesgo de producción (Arias

y Muñoz, 1983). Respecto de la enriquecimiento de las gramíneas como base forrajera, Thomas (1994) considera que “con la introducción de leguminosas en las pasturas se pueden incrementar las ganancias de peso del animal (53%) y la utilización de las pasturas (33%), sin disminuir las reservas del suelo”.

Otras ventajas de las asociaciones de cultivos relacionadas con la sustentabilidad ecológica y económica de los agroecosistemas son el control de la erosión, la conservación de la humedad y la disminución de la temperatura del suelo, el control de plagas y enfermedades, y la restricción de las malezas (Emeasor y Ezueh, 1997; Altieri, 1990).

Las áreas de sistemas interrelacionados, son regularmente reportados por ser más productivos que cosechas exclusivas cultivadas sobre la misma área de tierra. La explicación habitual dada para esta ventaja es que, las especies particularmente complementan recursos en tiempo y espacio dado, de tal forma que así se use el mayor recurso eficiente (Pilbeam *et al* 1996).

En muchos casos los agricultores que emplean asociaciones, consideran una de las especies componentes como la más importante, sea por su mayor interés como alimento para el consumo familiar o por que posee un mejor precio en el mercado, mientras que la otra o las otras especies se consideran como complementarias. Bajo tales circunstancias el criterio para juzgar el éxito de la asociación, es que el rendimiento de la especie principal no sea afectado por la combinación, de manera que cualquier rendimiento extra obtenido con la(s) especie(s) complementaria(s), representa en si misma una ganancia. En el manejo de cultivos asociados participan muchas variables, cuyos efectos finalmente pueden traducirse en la alteración de la habilidad competitiva de un componente con relación a los otros, como cuando se emplean diferentes fechas de siembra o se aplican fertilizantes de manera selectiva. Los esfuerzos dedicados a la investigación en cultivos son pequeños si

se comparan con los que se destinan a los monocultivos; aunque el creciente número de publicaciones sobre el tema en años recientes sugiere que existe un gran interés por la comprensión del funcionamiento de los cultivos asociados lo cual sin duda es una condición necesaria para su mejoramiento.



1.1 ANTECEDENTES

Para demostrar que los policultivos producen un rendimiento por unidad de área mayor, que las especies en monocultivo por separado, se han realizado muchos experimentos a través de varios métodos, los que pueden clasificarse principalmente en tres tipos: i) aquellos en los que se utilizan componentes del rendimiento de ambas especies para evaluar la eficiencia de la asociación ii) aquellos en los cuales se comparan los rendimientos absolutos del monocultivo con la asociación y iii) en los que se calcula un valor de rendimiento relativo (Francis,1986).

De la misma manera las tendencias actuales de la investigación en el campo agrícola se integran en tres aspectos fundamentales:

- Mejora de la producción mediante biotecnología
- Estudio de la dinámica de ciclos biogeoquímicos y sus implicaciones en la nutrición vegetal.
- Estudio de la fisiología de las plantas para su aplicación en la mejora de la producción.

Las tres áreas de investigación se encuentran íntimamente relacionadas entre sí, interaccionando de forma que el estudio de cualquiera de ellas obliga a que se consideren las restantes. El objetivo es reducir los efectos nocivos de la producción sobre el ambiente, optimizándola y permitiendo una agricultura sostenible basada en el conocimiento de la fisiología de las plantas y del sistema edáfico en el que se desarrollan.



Con lo que respecta a *Lupinus*, desde épocas remotas se le ha atribuido al lupino la propiedad de mejorar la fertilidad del suelo; debido a que sus raíces tienen una gran capacidad de exploración, lo que le permite aprovechar los nutrimentos de las capas más profundas del suelo. Por ser leguminosa dispone de un abastecimiento propio de nitrógeno, asegurado por las bacterias noduladoras; también se le atribuye la aptitud de transformar el potasio que se encuentra en el suelo y hacerlo disponible para la planta. Esta planta se adapta a condiciones de baja precipitación pluvial, suelos de baja fertilidad y a temperaturas de entre 9.5 y 28°C; todas estas características, propias de muchas áreas donde se desarrollan sistemas agrícolas de granos básicos, tanto en México como en otros países en desarrollo; sin embargo, la agricultura moderna lo ha ido desplazando (Gross, 1982).

De la misma manera existen algunos trabajos relacionados con la nutrición; como el de Rodas (2000), en el que el objetivo principal fue evaluar el efecto de *Lupinus mutabilis* en asociación con *Zea mays* en la eficiencia agronómica de la RF (roca fosfórica) de Baja California; en donde, en el experimento de invernadero se empleó un andosol de la Meseta Tarasca de Michoacán, México. Se probaron tres fuentes de fósforo (superfosfato triple, roca fosfórica y mezcla de ambas), tres dosis (150, 300 y 450 kg de P₂O₅ ha⁻¹), dos formas de aplicación (localizada e incorporada) y dos sistemas de producción (monocultivo de maíz y asociación maíz-lupino). Las variables evaluadas en el momento de la cosecha fueron: producción de biomasa, contenido de nitrógeno y fósforo en el tejido vegetal, eficiencia relativa de las fuentes de fósforo.

En general, la materia seca, el contenido de fósforo y el contenido de nitrógeno fueron mayores en el maíz asociado con lupino. Por lo cual, *Lupinus mutabilis* mejoró la eficiencia de la RF incorporada homogéneamente en el suelo; sin embargo, esta fue inferior a Súper Fosfato Triple y Súper Fosfato Triple + Roca Fosfórica (SFT y SFT+RF).



Por otro lado, recientemente se demostró, que en condiciones de limitado suministro de fósforo, algunas plantas como *Lupinus arboreus*, además de autoabastecerse de fósforo, dejan disponible una fracción para otros cultivos que se encuentra en asociación con ellas. Probablemente a la excreción de protones en las raíces que provocan descensos de pH en la rizósfera.

Barrientos *et al.*, (2001), utilizó *Lupinus albus* y *L. Angustifolius*, con el objetivo de comparar la cantidad de N fijado por ambas especies y su distribución en distintos órganos de la planta durante diferentes períodos en su ciclo de crecimiento; el cual fue realizado en un Andisol de la serie Vilcún, para lo cual se utilizó la técnica de la dilución isotópica de ^{15}N . Se utilizaron 10 kg de ^{15}N ha $^{-1}$ con 9.381% átomos en exceso, aplicados en forma de sulfato de amonio en las microparcelas con lupino y en aquellas con el cultivo de referencia (*Avena sativa* cv *Nehuén*). En la primera evaluación [45 días después de la siembra (DDS)] se determinó que *L. albus* cv Lolita fijó 39 kg de N ha $^{-1}$ y que *L. angustifolius* cv Gungurru fijó 25 kg de N ha $^{-1}$, equivalentes a 69 y 49% de N derivado del aire, respectivamente. En la segunda evaluación (80 DDS), *L. albus* cv. Lolita fijó 282 kg de N ha $^{-1}$ y *L. angustifolius* cv. Gungurru fijó 197 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 *Lupinus albus* fue 38%, en tanto que en *Lupinus angustifolius* fue 23%. Estos resultados demostraron que *Lupinus albus* cv Lolita y *Lupinus angustifolius* cv Gungurru tienen la capacidad de fijar elevadas cantidades de N en el Andisol Vilcún.

La producción de *Lupinus* está incrementando mucho en Australia, Chile y Estados Unidos, al amparo de programas de mejora ya que las autoridades de esos países han considerado la gran importancia agrícola y económica que tiene esta planta utilizándola en áreas donde las condiciones no permiten el crecimiento de la soja (García, 1998).



Por otro lado, si hablamos del área de estudio, trabajos realizados como el de Rodríguez (1990) determinan que estos suelos tienen fertilidad natural baja, con altos contenidos de materia orgánica, alta capacidad de retención de humedad, permeabilidad moderada y reacción de ligera a extremadamente alcalina. De la misma manera con este trabajo se determinó que las limitaciones para el uso agrícola son principalmente debido a los altos contenidos de sales y sodio.

Así mismo, por su capacidad de uso se clasifican como IVs-1 y por su aptitud al riego como IVs-2 y de acuerdo al sistema FAO corresponden al tipo de suelo denominado como Solanchack Mollico



1. 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los altos costos de importación y producción así como la creciente demanda de alimento por los países en desarrollo justifican la exploración de nuevas técnicas para el mejoramiento de cultivos básicos (como los cereales), que por adaptabilidad y contenido de proteína podrían tener mejores resultados si se les asocia con gramíneas. (La Jornada, 2004). La producción de maíz en nuestro país (México) se ha venido afectando, provocado por la disminución de alternativas de siembra; así como la degradación de suelos para cultivo; induciendo que la producción agrícola, principalmente maíz sea deficitaria (CANAMI, 2004).

Esta es una situación preocupante, debido a que constituye la base fundamental de la alimentación de amplios sectores sociales de nuestro país y de América latina. Así mismo, constituyen la base de la economía y subsistencia de pequeños agricultores, los cuales los producen bajo sistemas de siembras diversos en los que la asociación, especialmente con maíz, aparece como muy importante.



1.3 JUSTIFICACION

La falta de recursos económicos en apoyo al campo, la degradación y la poca producción agrícola han ido orillando a la búsqueda de nuevas alternativas y técnicas que ayuden al mejoramiento de los cultivos, es por ello que la búsqueda e implementación de asociaciones se ha vuelto esencial en lo que se refiere a la agricultura, siendo esta técnica, una opción eficaz, económica y ecológica, que se ha venido desarrollando con éxito, buscando cada día nuevas alternativas de asociación que brinden una mejor calidad al campo.



1.4 HIPOTESIS

En condiciones naturales y de temporal, el cultivo en asociación de *Zea mays* y *Lupinus montanus*, presentará mayor concentración de nutrimentos tales como nitrógeno y fósforo, con respecto a monocultivo; por lo cual si esta especie logra proveer una mayor concentración de N, P, podría ser considerada una nueva alternativa para el mejoramiento de cultivos en esta región.



1.5 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ❖ Evaluar la respuesta de la asociación *Zea mays* y *Lupinus montanus* a través del uso de series de reemplazamiento

OBJETIVOS PARTICULARES

- ❖ Evaluar si *Lupinus montanus* es capaz de adaptarse a condiciones de suelo y clima de los ejidos de Tlahuac.
- ❖ Cuantificar las concentraciones de nitrógeno y fósforo en suelo y material vegetal, bajo condiciones de asociación y monocultivo.
- ❖ Determinar el efecto de las series de reemplazamiento bajo análisis de varianza.



II. REVISION DE LITERATURA

2.1 Asociaciones

La asociación de cultivos consiste en el crecimiento simultáneo de dos o más especies sobre la misma unidad de terreno, de manera tal que el período de superposición comprenda total o parcialmente el desarrollo vegetativo (Gómez *et al.*, 1983).

El cultivo de gramíneas con leguminosas, por presentar características complementarias se adecuan a esta práctica, en América Latina son muy importantes las asociaciones de caña de azúcar con fríjol, sorgo con fríjol, soya con maíz y maíz con fríjol siendo ésta última la más común producidos bajo alguna forma de asociación; de la misma forma el maíz es considerado como un componente principal en las asociaciones por su significado en la producción agrícola en conjunto con algunas leguminosas que representan el cultivo complementario (Quiroz *et al.*, 2003).

La combinación de especies con distinto ciclo y diferentes requerimientos hídricos, lumínicos y nutricionales, mejora los rendimientos a través de un mejor uso de los recursos disponibles en tiempo y espacio, aunque el manejo del sistema es más complejo con limitaciones para la mecanización de las labores (Vandermeer, 1992). Podemos decir que, estimaciones cuantitativas sugieren, que el 98% de los cultivos en África son en asociación (Arnon, 1972; citado en Vandermeer, 1989), 90% del frijol en Colombia se produce en asociación (Gutiérrez *et a.*, 1975; citado en Vandermeer, 1989); y el porcentaje de suelos cultivados por medio de asociaciones en los trópicos actualmente, varía de un 17% para India y alrededor del 94% en Malawi (Edje, 1979; citado en Vandermeer, 1989). Las asociaciones en los agroecosistemas suelen ser muy comunes, las cuales presentan una gran diversidad.



Algunas de las combinaciones comúnmente realizadas así como su distribución se presentan en el cuadro 1 (cabe mencionar, que solo se uso una referencia para cada combinación de cosecha lo que no implica que esta sea la mas importante, simplemente es una introducción de la literatura).

Cuadro 1. Algunas de las asociaciones mas comunes (*citadas en Vandermeer, 1989).

COMBINACIÓN DE COSECHA	REGIÓN	REFERENCIA
Sorgo y alfalfa	Estados Unidos	Scout y Patterson, 1962*
Guisantes y avena	Alemania	Gliemeroth, 1950*
Maíz y Sorgo	El Salvador	Alas, 1974*
Avena y Centeno	Estados Unidos	Pfahler, 1965*
Maíz y Soja	Estados Unidos	Liboon, 1975*
Maíz y chicharos	México	Vandermeer <i>et al.</i> , 1983*
Arroz y Tabaco	Taiwán	Sung y Wu, 1966*
Avena y Cebada	Estados Unidos	Vandermeer <i>et al.</i> , 1983*
Vegetales y caña de azúcar	Puerto Rico	Lugo-López, 1953*
Tomates y frijón	Costa Rica	Rosset <i>et al.</i> , 1984 *
Caucho y café	Guatemala	Townsend <i>et al.</i> , 1964*
Soja y arroz	India	Reddy y Chatterjee, 1973*
Coco y cacao	Malasia	Leach, 1971*
Caña de azúcar y maíz	India	Bhoj y Kapoor, 1970*
Arroz y azúcar de remolacha	China	Chang yLin, 1960*



Datos como los anteriores nos dan una visión sobre la cantidad de variables que pueden ser utilizadas por los agrónomos en la aplicación de las asociaciones, basado en el paradigma de mayor uso y eficiencia del nitrógeno. Del mismo modo, Según Hiebsch y McCollum (1987), al utilizar componentes del rendimiento o rendimientos absolutos, se asume que es posible comparar directamente los beneficios de una especie con otra, sin embargo, dos especies no solo difieren en la magnitud de sus ganancias sino también en la forma de comercialización de su producto final.

Por este motivo, los métodos hasta ahora más usados son los que utilizan los rendimientos relativos, que se refieren a cuanto terreno se requiere para producir en monocultivo la misma cantidad de cada cultivo por unidad de área en asociación. Los principales métodos que utilizan este concepto son los llamados índices de eficiencia (LER, ATER y valor medio de LER + ATER) y los índices de competencia: agresividad (A) y coeficiente de competencia relativa (Francis, 1978; Ofori y Stern, 1987).

2.2 Generalidades de las gramíneas

Las gramíneas es el nombre común de una extensa familia de plantas con flor, la más importante del mundo desde los puntos de vista económico y ecológico. La familia Poaceae contiene unos 635 géneros y 9.000 especies, y es la cuarta más extensa después de Leguminosae, Orquidáceae y Asteraceae. La familia de las gramíneas no sólo 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 (Torres y Martínez, 1993)



Las gramíneas abundan sobre todo en hábitats abiertos, como praderas, tundras, estepas, sabanas y páramos, pero también hay muchas especies forestales, sobre todo en los trópicos. Algunas están adaptadas a hábitats de aguas saladas y dulces, estancadas y corrientes; otras flotan en la superficie del agua y no están unidas al suelo. Cabe mencionar que también existen algunas gramíneas en los desiertos (Torres y Martínez, 1993).

2.3 Generalidades de las leguminosas

La familia de las leguminosas tiene características tan especiales que, con frecuencia, sus miembros se pueden reconocer sin mucha dificultad. Es una de las tres grandes familias, con 550 géneros y 13,000 especies. Están representadas en ellas todo tipo de cuerpos vegetales: hierbas, tanto anuales como perennes, arbustos, enredaderas, y árboles. Desde el punto de vista económico, esta familia ocupa el segundo lugar, después de las gramíneas. La familia tiene distribución mundial, aunque la máxima concentración de especies se da en las regiones tropicales y subtropicales (Weier *et al.*, 1983).

Una característica común a toda la familia es la presencia en las raíces de unos nódulos que encierran bacterias del género *Rhizobium*, capaces de transformar el nitrógeno atmosférico, que las plantas no pueden utilizar, en nitrato (NO_3^-), que sí pueden utilizar. A menudo se plantan legumbres con el fin de reponer el nitrógeno del suelo. La asociación de las bacterias fijadoras de nitrógeno con las raíces de las leguminosas, hace que esta familia ocupe un lugar privilegiado en relación con el mantenimiento de la fertilidad del suelo.

La familia se divide en tres subfamilias muy afines, que con frecuencia reciben la consideración de familias. Una de estas subfamilias agrupa especies en su mayor parte herbáceas; entre las especies que engloba hay plantas tan importantes como el guisante



(chícharo), la judía (fríjol), el cacahuete, la soja (soya), el trébol, la alfalfa, y el altramuza (lupino).

La segunda subfamilia está formada en su mayor parte por árboles y arbustos. La tercera subfamilia agrupa también especies leñosas en su mayoría; pertenecen a este grupo el palo brasil, el algarrobo, la acacia de tres púas, el árbol del amor, el palo de Campeche y el tamarindo (Weier *et al.*, 1983).

2.4 Nitrógeno

El nitrógeno, es un elemento muy abundante en el planeta; sin embargo, a pesar de su abundancia, la biodisponibilidad es baja; la causa de ello está en que la molécula de nitrógeno es inaccesible para la mayor parte de los seres vivos, por lo que no se puede utilizar como fuente de nitrógeno. Las consecuencias de la escasa biodisponibilidad suelen ser muy negativas, ya que el nitrógeno es un constituyente esencial de las biomoléculas y junto con el agua y el fósforo, es el factor del incremento de la producción primaria (Howarth, 1991; citado en Lucas, 1998).

Las carencias de nitrógeno se suplen artificialmente mediante la administración de fertilizantes químicos, con el consiguiente aumento de la contaminación de los acuíferos, eutrofización de las costas y el incremento en la producción de gases como N_2O ; ya que se estima que aproximadamente el 30% del nitrógeno adicionado al suelo es devuelto a la atmósfera en forma de estos gases (Jambert *et al.*, 1997; Skinner *et al.*, 1997).

La biomasa microbiana del suelo es un factor esencial para la descomposición de residuos, ciclo del nitrógeno y flujo de energía. Esta biomasa funciona como fuente y como sumidero de nutrientes en la mayoría de los ecosistemas terrestres (Okano *et al.*, 1987; citado en Lucas, 1998).



El ciclo del nitrógeno está controlado principalmente por bacterias, y su actividad afecta a la distribución de compuestos nitrogenados en el sistema. Las condiciones ambientales que regulan la actividad de las bacterias determinan donde ocurre cada proceso, el grado de intercambio entre las distintas formas de nitrógeno y las posibles interacciones físicas, químicas y biológicas que puedan darse.

El ciclo del nitrógeno consiste en una serie de reducciones y oxidaciones sucesivas, que conducen a la transformación del nitrógeno a formas accesibles del metabolismo de animales, plantas y microorganismos. De manera muy general, este ciclo implica: la amonificación, degradación de los compuestos orgánicos nitrogenados a amoníaco o ión amonio; la nitrificación, oxidación del amoníaco o el amonio a nitratos que son incorporados por las plantas; y la asimilación, conversión de nitratos a amoníaco y su incorporación a compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos que contienen nitrógeno regresan finalmente al suelo o al agua, completándose el ciclo. El nitrógeno perdido por el ecosistema puede ser restituido por la fijación de nitrógeno, que es la incorporación de nitrógeno elemental a compuestos orgánicos; tal y como lo muestra la figura 2 (Curtis, 2006).

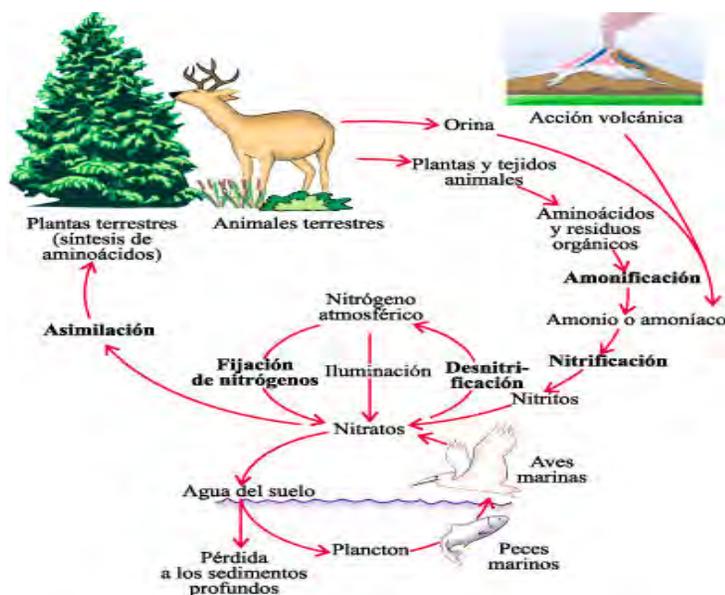


Figura 2. Representación esquemática del ciclo del nitrógeno.



2.4.1 Importancia del nitrógeno en las plantas

Este elemento es la base nutricional de las plantas y uno de los componentes más importantes de la materia orgánica. Es indispensable para la fotosíntesis, crecimiento, reproducción y se encuentra como constituyente estructural de la molécula protéica, ácidos nucleicos, hormonas del crecimiento, purinas, porfirinas y coenzimas, por lo que, sin este elemento la planta no puede elaborar los materiales de reserva que han de alimentar los órganos de crecimiento y desarrollo. Da a las plantas color verde oscuro, tamaño, desarrollo foliar y succulencia. Constituye un 2% aproximadamente del peso total seco de la planta, concentrándose en los tejidos jóvenes. El efecto que este nutrimento tiene sobre la calidad, es muy marcado en las gramíneas, ya que tiende a incrementar el contenido de proteína cruda (Cooke, 1983; Cajuste, 1977).

2.5 Fósforo

El fósforo se halla ampliamente distribuido en la naturaleza y ocupa el lugar 11 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. No se encuentra en estado puro, sino que se encuentra principalmente en forma de fosfato, como rocas fosfáticas y apatito. También se presenta en estado combinado en los suelos fértiles y en muchas aguas naturales. Es un elemento importante en la fisiología de animales y plantas y está presente en todos los huesos de los animales en forma de fosfato cálcico.

El fósforo es esencial para todos los sistemas vivos como componente de las moléculas portadoras de energía. Al igual que otros minerales, es liberado de los tejidos muertos por las actividades de los descomponedores, absorbido del suelo y del agua por las plantas y las algas, y circulado a través del ecosistema (Curtis, 2006). El ciclo del fósforo, al igual que los otros ciclos biogeoquímicos representa un papel de suma importancia para la producción primaria; tal como lo muestra la figura 3.

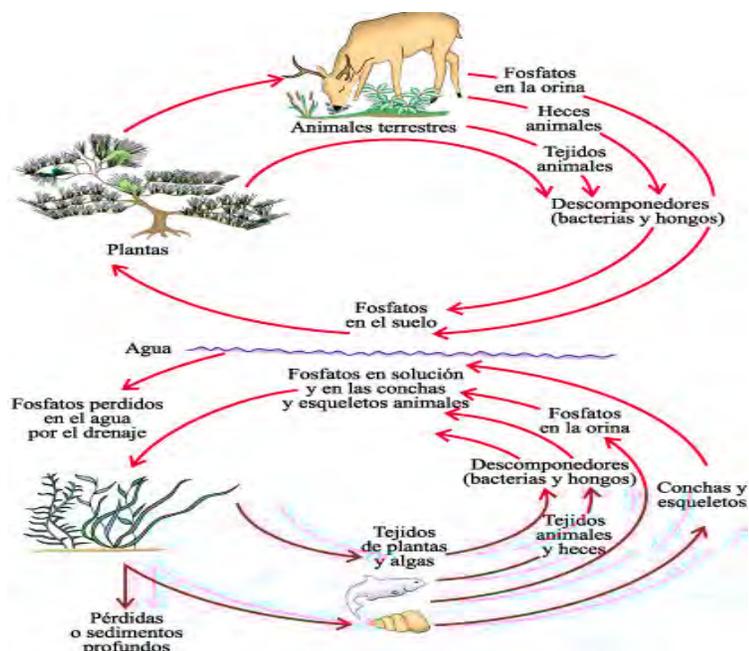


Figura 3. Representación esquemática del ciclo del Fósforo.

2.5.1 Importancia del Fósforo en las plantas

El fósforo tiene numerosas funciones en las plantas, es el principal en el almacenaje y la transferencia de energía a través de la planta. El adenosin difosfato (ADP) y el adenosin trifosfato (ATP), son compuestos fosfatados con alta energía, controlan los procesos en los vegetales incluyendo la fotosíntesis, respiración, síntesis de proteínas; ácidos nucleicos y transporte de nutrimentos a través de las células de las plantas. El fósforo forma parte de la planta en una proporción 0.95 y 11 1% de la materia seca (Tisdale *et al.*, 1985; citado en Akhtar, 2004).

Es bien conocido que el fósforo es esencial para la producción de semillas, promueve e incrementa el desarrollo radical, origina la madurez temprana de plantas



(menor tiempo para llenado de grano), promueve el alargamiento del tallo, promueve la resistencia a enfermedades de la raíz y la resistencia a heladas. Ayuda a las plantas a crecer rápidamente en sus primeras fases; esencial para la división celular y para el desarrollo de los tejidos meristemáticos. Se concentra en las partes de la planta que están creciendo con mayor rapidez. Así mismo el fósforo estimula la formación de raíces fibrosas laterales, las cuales incrementan el área superficial de las raíces y facilita la absorción de nutrientes; aumenta la resistencia de las plantas a las enfermedades por el desarrollo de bacterias fijadoras de nitrógeno, además la deficiencia de Fósforo causa deficiencia de Nitrógeno. A su vez, este también incrementa la calidad de ciertas frutas, forrajes, granos y hortalizas (Tisdale *et al.*, 1985).

Cuando hay una deficiencia de Fósforo, hay una disminución de la división celular, un menor crecimiento, un retraso de la madurez y una mala polinización. Un síntoma de deficiencia de este, aparece en las hojas más viejas, presentando un color verde oscuro con una coloración morada en los estados de mayor crecimiento de las plantas; después sobre esto se presenta un amarillamiento pálido o amarillamiento verdoso en la coloración de las plantas (Foth, 1985).

2.6 Características generales del Maíz

El maíz, por un lado, es originario de América, donde era el alimento básico de las culturas americanas muchos siglos antes de que los europeos llegaran al Nuevo Mundo. El origen de esta planta sigue siendo un misterio. Hay pruebas concluyentes, aportadas por los hallazgos arqueológicos y paleobotánicas, de que en el valle de Tehuacan, Puebla; al sur de México ya se cultivaba maíz hace aproximadamente 4.600 años; en donde fue denominado como *centli* (a la mazorca) y *tlaolli* (al grano). El maíz silvestre primitivo no se diferenciaba mucho de la planta moderna en sus características



botánicas fundamentales. En España empezó a cultivarse en 1604, introducido en Asturias por el gobernador de la Florida. Durante el siglo XVIII, el cultivo se difundió de forma gradual por el resto de Europa (Añez *et al.*, 1990).

Actualmente es uno de los principales cultivos de cereales, y se producen numerosas variedades híbridas que se utilizan como alimento y otros fines. (Sólo en México más de 2.000 variedades distintas). El grano se destina al consumo humano y del ganado, y la mazorca y sus extractos se aprovechan en la industria para fabricar fibra de nailon y goma sintética. Las numerosas variedades de maíz presentan características muy diversas: unas maduran en dos meses, mientras que otras necesitan hasta once. El follaje varía entre el verde claro y el oscuro, y puede verse modificado por pigmentos de color marrón, rojo o púrpura (Girardin, 1991).

Tallo

El maíz forma un tallo erguido y macizo, una peculiaridad que diferencia a esta planta de casi todas las demás gramíneas, que lo tienen hueco. La altura es muy variable, y oscila entre poco más de 60cm en ciertas variedades enanas y 6m. o más; la media es de 2,4 m. El tallo principal termina en una inflorescencia masculina; ésta es una panícula formada por numerosas flores pequeñas llamadas espículas, cada una con tres anteras pequeñas que producen los granos de polen o gametos masculinos (Girardin, 1991).

Inflorescencia

La inflorescencia femenina es una estructura única llamada mazorca, que agrupa hasta un millar de semillas dispuestas sobre un núcleo duro. La mazorca crece envuelta en unas hojas modificadas o brácteas; las fibras sedosas o pelos que brotan de la parte superior de la panocha o mazorca son los estilos prolongados, unidos cada uno de ellos a un ovario individual. El polen de la panícula masculina, arrastrado por el viento (polinización



anemófila), cae sobre estos estilos, donde germina y avanza hasta llegar al ovario; cada ovario fecundado crece hasta transformarse en un grano de maíz. La longitud de la mazorca madura oscila entre 7,5 cm. y hasta 50 cm., con un número de filas de granos que puede ir desde 8 hasta 36 o más. Las variedades se encuadran en seis grupos en función de las características del grano.

En el maíz de harina predomina el almidón blando o menos compacto, que facilita la molienda del grano. Se cultiva mucho en los Andes sudamericanos, en los territorios que ocupaba el antiguo Imperio Inca. El maíz dulce es el tipo más cultivado para consumo humano directo. El azúcar que produce esta variedad de maíz dulce no se convierte en almidón al madurar, como ocurre en otras variedades. El grano del maíz dulce maduro presenta un arrugamiento característico. También el maíz se ha utilizado desde hace muchos años para hacer una bebida fermentada, y en medicina como base para ciertas sustancias curativas.

El maíz es un alimento básico para el hombre y una importante planta forrajera para los animales. Constituye una fuente excelente de hidratos de carbono; el grano de maíz posee un 13% de proteínas y un 7% de grasas, por lo que la dieta debe complementarse con alimentos proteicos (Girardin, 1991).

2.7 Características generales de Lupinus

Los Altramuces que pertenecen al Orden de las Fabales, a la Familia de las Leguminosas y al género de los *Lupinus*; son hierbas anuales, e incluso en América Latina llegan a ser plantas arbustivas. El hábitat predominante de estas especies son lugares templados y fríos, a medida que aumenta la altitud y la latitud disminuyen no solo el número de especies sino también el tamaño de cada una de ellas. Ahora bien, la palabra *Lupino* procede del término latino *lupus* = Lobo, haciendo referencia a la voracidad



que tienen estas plantas en utilizar nutrientes del suelo que no están disponibles para otras plantas que crecen en el mismo suelo (Meredith, 1988).

Por otro lado, *Lupinus*, es una leguminosa originaria de los Andes, Bolivia, Ecuador y Perú. Tiene relevancia en la gastronomía de estos países desde la época prehispánica. Su alto contenido de proteínas, mayor que el de la soja, lo hace una planta de interés para la nutrición humana y animal, con alrededor de 200 especies originarias del mediterráneo (subgénero *Lupinus*) y de América (subgénero *Platycarpus*). Este inusual poder de los altramuces están asociados a la formación de “proteoid roots”, son manojos de raíces laterales que aparecen ante una situación de baja disponibilidad de fósforo, y a la exudación de ácidos orgánicos que movilizan nutrientes por procesos de quelación (Gerke *et al.*, 1994).

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 (Hill, 1986); sin embargo el grano requiere 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 (Mujica, 1992).

Es una leguminosa herbácea erecta de tallos erectos y robustos, algo leñosa. Alcanza una altura de 0.8-2.0m. Se cultiva principalmente entre 2000 y 3800m de altitud, en climas templados y fríos; prospera de modo silvestre en suelos arenosos. Una gran utilidad de la mayoría de las especies de *Lupinus* es su característica de fijar en nitrógeno en los suelos, razón por la cual son excelentes fertilizantes naturales (Gross, 1982).



Ciclo biológico

El tiempo que transcurre desde la siembra hasta la madurez fisiológica es muy variable, Concha (1992) manifiesta que cuando se le preserva con fines ornamentales cerca de las casa, con dotación de agua suficiente, los ciclos biológicos se prolongan hasta mas de un año. Ortega (1977) supone que el periodo vegetativo puede variar entre 145 y 325 días.

Rodríguez *et al.*1997, observaron diferencias en la emergencia de las plántulas iniciando algunas a los 8 días y otras a los 17 días. La primera flor se registró a los 59 días después de la siembra y la más tardía a los 86 días, la madurez ocurrió a los 118 y 147 días después de la siembra. En cambio la madurez fisiológica de la planta fue a los 177 días, para la variedad de ciclo corto y a los 241 días para la variedad más tardía.

La hoja

Es de forma digitada, generalmente compuesto por ocho foliolos que varían entre ovalados a lanceolados. En la base del pecíolo existen pequeñas hojas estipuladas muchas veces rudimentarias. El color puede variar de amarillo verdoso a verde oscuro, dependiendo del contenido de antocianina. Presenta una corola grande de 1 a 2cm. Con cinco pétalos compuesta por un estandarte, dos quillas y dos alas. Según el tipo de ramificación que presente la planta, puede tener hasta tres floraciones sucesivas.

La flor

Flores verticiladas o esparcidas, brácteas de la parte inferior de 16 a 30mm de largo, las superiores reducidas; labio inferior del cáliz delgado, arqueado, de 8 a 9mm de largo. Presenta racimos de 8 a 30cm de largo. La coloración de la flor varia entre el inicio de su formación hasta la maduración, de un color azul claro hasta uno muy intenso (Gross, 1982).



Las semillas

Es de forma tendiente a oval. Su longitud es de 3.7 a 5mm, su ancho es de 2.3 a 3.7mm y su grosor es de 1.9 a 2.6mm; la variación en tamaño depende tanto de las condiciones de crecimiento como del ecotipo o variedad. La testa es lisa; la cual puede constituir hasta el 10% de su peso. Cuenta con hilo. Embrión total (4/4), ocupando casi toda la cavidad seminal. Es axial, folial y doblado, color blanco verdoso. Los cotiledones son ovados, ápice redondeado y acumbentes. El endospermo es muy poco abundante, color blanco y algodonoso en contacto con la radícula y parte de la base de los cotiledones (Rodríguez y Rojo, 1997).

El tallo

Es generalmente muy leñoso, de 4 a 15mm de diámetro; puberulento con pelos finos, aplicados los cuales se puede utilizar como combustible. Su alto contenido de fibra y celulosa hace que se le emplee como material de combustión, sin embargo podría permitir un proceso de industrialización. El color del tallo oscila entre verde oscuro y castaño. En las especies silvestres es rojizo a morado oscuro. Según el tipo de ramificaciones, 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. Una arquitectura de tipo basal con desarrollo acentuado del tallo principal sin ramas secundarias podría permitir una siembra con mayor densidad de planta y una maduración más uniforme (Gross, 1982).

Raíz

Como leguminosa, tiene una raíz pivotante vigorosa y profunda 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 3cm.). En suelos



con presencia de bacterias, la formación de nódulos se inicia a partir del quinto día después de la germinación. Los nódulos pueden alcanzar un diámetro hasta de 3cm; se localizan principalmente en la raíz primaria, por encima de la ramificación radicular, e incluso en las raíces secundarias.



Figura 4. Lupinus en estado adulto en un bosque de pino.

Requerimientos del suelo para *Lupinus*

Prefiere suelos no alcalinos bien drenados y bien estructurados. La humedad mejora el desarrollo de *Lupinus* ligeros de baja fertilidad, las pendientes y las faldas de los montes son lugares favoritos debido a su ambiente rustico (Gross, 1982). Mucho se ha indicado que el lupino es propio de suelos pobres y marginales. Como cualquier cultivo, sus rendimientos dependen del suelo en que lo cultiven. *Lupinus* se desarrolla mejor en suelos francos o francos arenosos; requiere además un balance adecuado de nutrientes. No necesita elevadas cantidades de nitrógeno, pero si la presencia de fósforo y potasio; lo que no resiste este es suelos pesados y que acumulen humedad en exceso. Así cuando el lupinus encuentra una deficiencia de fósforo en la tierra, desarrolla un proceso metabólico interno



que produce la neutralidad eléctrica de las partículas cargadas del suelo –cationes y aniones-, con lo que equilibra el pH de este (Espinosa, 1997).

Desde épocas remotas se le ha atribuido al lupino la propiedad de mejorar la fertilidad del suelo; sus raíces tienen una gran capacidad de exploración, lo que le permite aprovechar los nutrimentos de las capas más profundas del suelo. Por ser leguminosa dispone de un abastecimiento propio de nitrógeno, asegurado por las bacterias noduladoras; se le atribuye la aptitud de transformar el potasio que se encuentra en el suelo y hacerlo disponible para la planta. Esta planta se adapta a condiciones de baja precipitación pluvial, suelos de baja fertilidad y a temperaturas de entre 9.5 y 28°C; todas estas características, propias de muchas áreas donde se desarrollan sistemas agrícolas de granos básicos, tanto en México como en otros países en desarrollo; sin embargo, la agricultura moderna lo ha ido desplazando (Gross, 1982).

Más recientemente se ha demostrado que en condiciones de limitado suministro de fósforo, la especie *lupinus*, además de autoabastecerse de fósforo. Lo deja disponible para otros cultivos que se encuentren en asociación con ella resultando en una mayor producción de biomasa (Espinosa, 1997).

El gran poder de aclimatación que tiene *Lupinus* a condiciones de estrés tan diversos, tales como suelos extremadamente pobres, secas, heladas, altas concentraciones de aluminio, etc. , hacen de esta planta un material de extraordinario valor de cara a avanzar hacia la denominada agricultura sostenible basada en la mínima entrada de fertilizantes, pesticidas, correctores de crecimiento, etc.



Características nutricionales de lupinus

Las leguminosas tienen un alto contenido de azúcares (más de 50%) y la energía por unidad de peso es semejante a la de los cereales (Ranilli, 1995). La especie del género *Lupinus* tiene una composición en azúcares muy compleja. Entre los polisacáridos estructurales, el más importante es la celulosa, seguido de algunas hemicelulosas y en menor proporción la lignina. Entre los azúcares neutros los más abundantes son la glucosa y galactosa, apareciendo muchos otros en menor proporción como la artabinosa, xilosa, ácidos urónicos, entre otros. Un aspecto nutricional importante de la semilla de *Lupinus* es su contenido de aceite oscilando entre un 10 y un 25%, valores en algunos casos superiores a los obtenidos en semillas de soja. La mayoría de los ácidos grasos presentes en sus semillas son insaturados, siendo los predominantes el ácido oléico y el ácido linoléico.

La presencia de un alto porcentaje de proteínas en la semilla de *Lupinus* es el aspecto nutricional más importante. Los análisis realizados indican que contienen entre un 36 y 52% de proteínas, valores mayores, incluso que en la soja. Por otra parte, la presencia de α -galactosidos en la semilla de *Lupinus* es de vital importancia para el altramuz, ya que se ha demostrado que proporcionan a la semilla una mayor tolerancia a la desecación que se produce durante su maduración y posterior almacenaje, además de ser de vital importancia para la posterior germinación de la semilla, sobre todo durante los primeros días (Pettersen y Mackintosh, 1994).

Usos de *Lupinus* en la agricultura

Lupinus puede utilizarse en programas de rotación de cultivos con papas y avena en suelos ácidos, y se ha comprobado que mantienen el pH en valores próximos a 5.5, controlando de esta forma al denominado mal de la costra de las papas (Bollan, 1992).



Además estas plantas pueden ser utilizadas en programas de recuperación de suelos ácidos procedentes de minas de carbón abandonadas o en suelos con alto contenido en aluminio, ya que toleran concentraciones que son muy altas para la mayoría de las plantas (Foy, 1997).

También puede ser utilizado para ser consumido directamente por el ganado, para henificar y sobre todo para ensilar con algún cereal, con el maíz forrajero.

Las semillas del género *Lupinus* pueden ser consideradas como oleaginosas y como proteaginosas, ya que el porcentaje de aceite puede llegar en algunos casos hasta el 25%, valor incluso superior al obtenido para semillas consideradas oleaginosas como la soja, y el porcentaje de proteínas puede llegar hasta el 52%, también mayor que el obtenido en la soja; principal fuente de proteínas actualmente (Mohamed y Rayas-Duarte, 1995).

Debido a un aumento en el uso de fertilizantes químicos, en la actualidad existen excelentes razones para incrementar la producción de leguminosas fijadoras de nitrógeno, ya que la fertilidad residual de un cultivo. La rotación anual, proporciona nitrógeno a los cultivos de cereales. El uso de cultivos de grano de leguminosas como abono verde es un modo de reducir la cantidad de fertilizantes nitrogenados en la producción de maíz; debido a que cerca de un 20% de nitrógeno de las leguminosas es captado por el primer cultivo, pero los beneficios persisten en cultivos posteriores (Ranalli, 1995).



2.8 Proceso de nodulación

El nitrógeno es muy abundante en la atmósfera, sin embargo, las plantas no pueden utilizarlo en su forma elemental y tienen que obtenerlo del suelo principalmente en forma de nitratos. La fijación biológica de nitrógeno es un proceso clave en la biosfera, por el cual microorganismos portadores de la enzima nitrogenasa convierten el nitrógeno gaseoso en nitrógeno combinado. El grupo de bacterias al que se conoce colectivamente como rizobios, inducen en las raíces (o en el tallo) de las leguminosas la formación de estructuras especializadas, los nódulos, dentro de los cuales el nitrógeno gaseoso es reducido a amonio. Se estima que este proceso contribuye entre 60-80 % de la fijación biológica de nitrógeno; cabe mencionar que la simbiosis es inhibida si existe un exceso de nitrato o amonio en el suelo.

La fijación de nitrógeno en la simbiosis rizobio-leguminosa es de considerable importancia en agricultura, porque causa un aumento significativo del nitrógeno combinado en el suelo. Dado que la carencia de nitrógeno suele darse en suelos desnudos y sin abonar, las leguminosas noduladas ofrecen una ventaja selectiva en tales condiciones y pueden crecer bien en zonas donde no lo harían otras plantas. Por otro lado, el uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados en agricultura ha ocasionado graves problemas de contaminación. No todo el fertilizante que se aplica lo aprovecha la planta sino que en una cuantía importante acaba en lagos y lagunas. La fijación biológica de nitrógeno es la opción natural a la fertilización química (López, 1995).

En el proceso de nodulación se conocen bien las etapas de la infección. Estas incluyen:

1. Reconocimiento de la combinación adecuada, tanto por parte de la planta como de la bacteria, y adherencia de la bacteria a los pelos radicales.
2. Invasión del pelo radical y formación de un canal (o hilo) de infección.



3. Desplazamiento de las bacterias hacia la raíz principal a través del canal de infección.
4. Diferenciación de las bacterias en un nuevo tipo al que se le llama bacteroides, dentro de las células de la planta, y desarrollo del estado de fijación del nitrógeno.
5. Proceso continuado de división de las células bacterianas y vegetales, y formación del nódulo radical maduro.

Las plantas leguminosas secretan compuestos específicos que atraen a los rizobios. Entre estos compuestos se encuentran flavonoides y en respuesta a ellos los rizobios activan una serie de genes implicados en la nodulación.

El primer paso en la formación de los nódulos es la adherencia de la bacteria a la planta. En la superficie del rizobio se localiza una proteína específica de la adherencia, la ricadesina. Es una proteína que se une al calcio y puede actuar captando complejos de calcio en la superficie de los pelos radicales. La bacteria penetra entonces en el pelo radical e induce la formación, por parte de la planta, de un tubo de composición similar a la pared celular, conocido como canal de infección, que avanza por el pelo radical. A continuación, la infección alcanza a las células de la raíz adyacentes a los pelos radicales, y los factores 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). Al cesar la división las bacterias se transforman en unas formaciones ramificadas, hinchadas y deformes, llamadas bacteroides; a los que se les llaman simbiosomas; en donde la fijación de nitrógeno no se inicia sino hasta que estos últimos se han formado. 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).

2.9 Series de Reemplazamiento

Las interacciones competitivas entre diferentes especies se pueden estudiar en experimentos de reemplazo con tratamientos que consisten en una serie de comunidades con proporciones variables de dos especies que cohabitan; es decir, describe el intervalo de rendimientos totales posibles (biomasa o económico) que pueden obtenerse a medida que un monocultivo de A se sustituye progresivamente por una especie B. Los rendimientos superiores a los correspondientes a una relación, indican que las especies en combinación explotan el ambiente en forma más completa que cualquiera de las dos aisladamente. Si ambas especies se comportan mejor en la mezcla que en monocultivo, se complementan la una a la otra, quizá por que utilizan espacios diferentes. Por el contrario los rendimientos inferiores indican la posibilidad de antagonismo mutuo; y al mismo tiempo también se puede mostrar la posibilidad de una interacción neutra.

Para una correcta interpretación de las interacciones existentes, en cada uno de los casos se deben examinar los rendimientos individuales de cada uno de los componentes de la mezcla (Loomis *et al.* 2002).

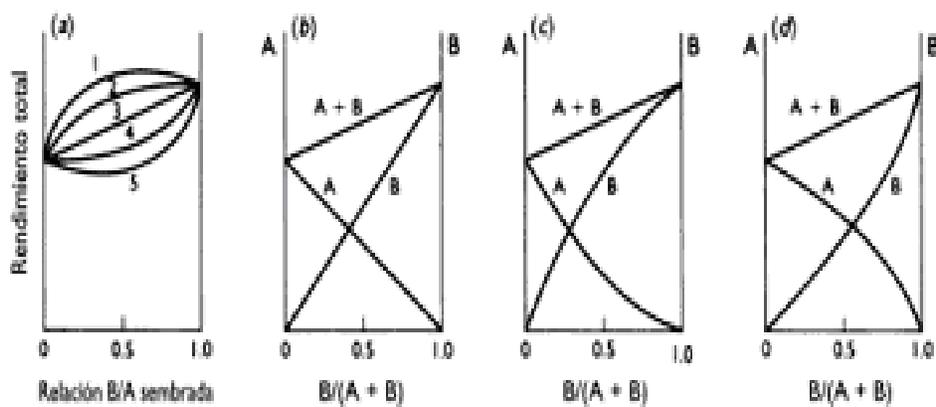


Figura 5. (a) posibles resultados del rendimiento total de comunidades binarias creadas por el reemplazo de la especie A con la especie B. (b) rendimiento total y contribuciones de los componentes con interferencia neutra. A y B responden mutuamente como ellas mismas lo hacen independientemente. (c) B gana. (d) A gana (efecto Montgomery)



III. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra en las coordenadas $19^{\circ}12' 20''$ Latitud y $99^{\circ}05'56''$ Longitud, en la zona conocida como “Humedales de Tlahuac”. Al sureste del Distrito Federal (ver figuras 6 y 7). La mayor parte de la zona se encuentra caracterizada por suelo fuertemente influido por el hidromorfismo como por la salinidad. Principalmente encontramos suelos clasificados como Solonchak y Solonetz; los cuales tienen a presentar una acumulación de sales. Presentan vegetación tal como el pasto kikuyo, el pasto salado y otras especies tolerantes a la salinidad.



Fig. 6. Imagen satelital del Distrito Federal, área de estudio (Google Heart, 2007)



Fig. 7. Toma satelital de la Zona del Humedal (Google Herat, 2007)

3.1 Caracterización de la zona de humedales

Localización geográfica

Localizada en la porción sureste de la Cuenca de Valle de México, entre las coordenadas $19^{\circ}12'20''$ Latitud y $99^{\circ}05'56''$ Longitud a 2235 msnm la cual genéticamente esta relacionada al origen del Sistema Volcánico Transversal. Forma parte de la cuenca lacustre, donde actualmente todavía se encuentran vestigios de los ancestrales lagos. Más específicamente es un remanente del Lago de Chalco. Caracterizados por una planicie lacustre donde la pendiente es inferior al 2%, esta planicie se ve influida por aportes de material aluvial que recibe de los volcanes Guadalupe, Teuhtli, Xaltepec y el cerro Tetecón. El relieve es peniplano, interrumpido por la presencia de surcos, bordos de canales y terracerías así como por ligeros hundimientos; la extensión del humedal alcanza entre 400



y 800 hectáreas. Es el refugio de más de 25 especies de animales, entre aves, mamíferos, reptiles y peces

Geología

Los fallamientos conocidos como Chapala-Acambay y Humboldt ocurridos hace 20 millones de años, en la era mesozoica en el terciario medio y superior respectivamente, formaron la sierra de Guadalupe y la sierra de Chichinautzin, cerrando la cuenca en sus extremos norte y sur, dando lugar a la formación de una fosa conocida como cuenca, la cual se rellenó con acarros fluviales, coluviales, lacustres y material piroclástico arrojados por los volcanes aledaños.

Los depósitos aluviales de la primera etapa del cuaternario que rellenaron la cuenca contenían proporciones elevadas de arcillas impermeables que descansan sobre intercalaciones más permeables de arenas y limos. En toda el área de la planicie lacustre de Tláhuac, estas arcillas llegan a presentar un espesor hasta de 100 m, presentando un nivel freático a los 2 ó 3 m de profundidad.

El área de los Humedales de Tláhuac además de estar constituido por los materiales ya señalados se encuentra constituido por material piroclástico, toba y brecha basáltica (INIFAP, 2001).

Clima

Atendiendo a la clasificación climática de Köppen, presenta un clima Cw, templado subhúmedo con lluvias en verano



Precipitación

La precipitación pluvial promedio de la zona es 533.8mm por año, con lluvias en verano-otoño, en el periodo húmedo a partir del mes de mayo hasta el mes de octubre, siendo julio y agosto los meses más lluviosos (sistema de información geográfica de CORENA, 1999)

Temperatura

La temperatura media anual es de 15° C, siendo la temperatura mínima media de 3° C en los meses de diciembre y enero. La temperatura máxima media de los meses más calurosos (abril o mayo) llega a ser de 30° C.

Tomando en cuenta las altas temperaturas que se manifiestan y la frecuencia y duración de los vientos que la favorecen, la evaporación media anual llega a ser de 1,700 mm. (INIFAP, 2001)

Vientos

Los vientos que predominan en la zona son de tres tipos: vientos alisios del noreste, donde el flujo predomina durante el verano y otoño, los vientos de altura del este y oeste provenientes de la Sierra Nevada y de la Sierra del Ajusco, a una altitud superior a los 3,000 m y los vientos convectivos que se producen durante las horas más calientes. El intenso calentamiento del aire superficial origina movimientos verticales de masas de aire, provocando remolinos que se proyectan a gran altura, llevando en suspensión partículas de polvo. El viento rasante y la escasa vegetación son causas de las tolvaneras que azotan la región en los meses de enero y febrero (Reyes, 1982).



Heladas

El fenómeno meteorológico más frecuente durante el año son las heladas que llegan a tener una frecuencia entre 20 y 30 días por año, concentrándose desde fines de diciembre hasta febrero e inicios de marzo.

Hidrología

La zona de estudio se localiza en la Región Hidrológica XIII Valle de México y en la subregión Valle de México. La cuenca endorreica contiene varios lagos someros, siendo el de Texcoco el mayor y el que ocupa el espacio más bajo en el centro, le siguen en importancia los lagos de Zumpango y Chalco, que son los últimos vestigios de los antiguos lagos. La red hidrográfica está integrada dentro de la cuenca del río de la Compañía.

Desde el punto de vista artificial los acueductos que provienen del cerro de la Estrella y que derivan a los humedales y canales de Tláhuac, también presentan una conexión hasta el canal del río de la Compañía; aunque naturalmente el área de estudio no se encuentra dentro del área de influencia del río de la Compañía, si afecta al área de estudio desde el punto de vista artificial por las condiciones antes mencionadas (Reyes, 1982)

Suelos

De acuerdo a la FAO (1990) la zona posee, un suelo tipo Solonchaks, en fases fuertemente sódica, sódica no salina y fuertemente salina, con textura media y pendiente plana. Son característicos por tener poco drenaje y favorecer el afloramiento de sales

El suelo en general es profundo de textura media, de color oscuro, y presenta superficialmente costras de color blanco combinadas con manchas de color oscuro causadas por la presencia excesiva de sales solubles y sodio intercambiable.



Vegetación

Las especies que conforman la vegetación actual del sitio están representadas en su mayoría por la vegetación natural típica de los humedales, que se extendían sobre todos los antiguos lagos de la Cuenca de México. La especie más representativa, que se encuentra arraigada, es el tular (*Typha latifolia*), el cuál forma densos manchones a la orilla de los canales; asociados a este se presentan el pasto salado (*Distichlis spicata*) y el carrizo (*Arundo donax*), y en menor proporción se presentan la orejilla (*Hydromistria laevigata*).

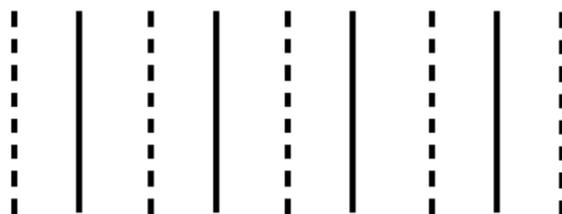
Con respecto a la vegetación terrestre, la especie arbórea dominante en la zona es el ahuejote (*Salix bonpladiana* var. *stricta*), la cual se encuentra bordeando las chinampas; también se observa como ejemplares de la vegetación nativa al sauce llorón (*Salix babylonica*), y el ahuehuete (*Taxodium mucronatum*) (UAM–Xochimilco/CORENA1999).



IV. MATERIALES Y MÉTODOS

Se escogió una parcela de la zona ejidal de los “humedales de Tlahuac”; México Distrito Federal; específicamente se tomo la parcela denominada como tabla 30. El área delimitada representa un total de 12m de largo X 3m de ancho; en el cual se realizaron 9 surcos dejando 0.80m de separación entre cada surco y 0.25m entre cada planta. Debido a las características de la parcela experimental, se decidió establecer plantas de *Lupinus* y maíz en monocultivo y en asociación; de tal manera que existiera la interacción entre especies y a través del tiempo se pudiera observar la aportación de la especie de leguminosa sobre la gramínea.

Por tal motivo, se procedió a establecer experimentalmente la ubicación de cada una de las especies, de tal manera que se llevó a cabo una simulación en campo de la metodología de series de reemplazamiento de De Wit; y se pudiera montar al mismo tiempo un diseño completamente al azar (Martínez, 1990); en donde se tuvo una densidad de 27 plantas de maíz y al mismo tiempo 27 plantas de *Lupinus*. Por ejemplo, en el primer surco se acomodo de manera que hubiera 1 planta de maíz asociada a una planta de *Lupinus*; el segundo surco se monto de monocultivo de maíz, el tercer surco se sembraron 1 planta de maíz asociada con dos plantas de *Lupinus*; de esa forma se probaron dos tratamientos que se especifican en el cuadro 1 y 2 donde se muestra claramente el acomodo que se hizo de las plantas para este experimento.



Cuadro 1. Disposición espacial de las hileras en cada tratamiento, asociación *Zea mays*-*Lupinus montanus* línea punteada (AML), monocultivo de maíz línea continua (MM)

Cuadro 2. Acomodo de las hileras en el tratamiento, asociación *Zea mays*-*Lupinus montanus* (AML) y monocultivo de maíz (MM)

AML	MM	AML	MM	AML	MM	AML	MM	AML
<p>M - L 1 : 1</p>  	 <p>M 3</p>	<p>M - L 1 : 2</p>  	 <p>M 2</p>	<p>M - L 1 : 3</p>  	 <p>M 1</p>	<p>M - L 1 : 1</p>  	 <p>M 3</p>	<p>M - L 1 : 2</p>  



Continuación de cuadro 2. Acomodo de las hileras

<p>M-L 1 : 1</p>  	 <p>M 3</p>	<p>M-L 1 : 2</p>  	 <p>M 2</p>	<p>M-L 1 : 3</p>  	 <p>M 1</p>	<p>M-L 1 : 1</p>  	 <p>M 3</p>	<p>M-L 1 : 2</p>  
<p>M-L 1 : 1</p>  	 <p>M 3</p>	<p>M-L 1 : 2</p>  	 <p>M 2</p>	<p>M-L 1 : 3</p>  	 <p>M 1</p>	<p>M-L 1 : 1</p>  	 <p>M 3</p>	<p>M-L 1 : 2</p>  



Material Vegetal

Como material biológico se emplearon *Zea mays* y *Lupinus montanus*. Por un lado, se utilizó maíz criollo de la zona. Ahora bien, la semilla de *Lupinus montanus* empleada en los tratamientos fue proporcionada por el Colegio de Postgraduados campus Montecillos. Veintisiete plántulas de *Lupinus* de dos semanas de edad fueron trasplantadas en el área de estudio. Antes del trasplante se limpiaron las raíces con agua destilada, para evitar interferencias en los resultados que pudiera provocar el suelo adherido a la raíz de la plántula.



Figura 8. Plántulas de *Lupinus* de 2 semanas de edad.



Se realizaron observaciones dos veces por semana, para evitar que creciera algún tipo de maleza y pudiera interferir en los resultados del proyecto. Es importante mencionar, que el experimento se llevo a cabo en condiciones de temporal (mayo a septiembre), y asociado a esto no se agregó ningún fertilizante; esto para permitir que las plantas se adaptaran a las condiciones de la época. Y determinar realmente la eficiencia de la leguminosa.

Al observar el desarrollo y la adaptación de las plantas al medio, y transcurrido el tiempo determinado para el crecimiento del maíz, lo cual fue en 5 meses (20 semanas) se realizó la cosecha del maíz y lupino para su posterior análisis químico; tal como lo muestra la figura 9.

Cabe resaltar que se tomaron muestras al azar tanto de suelo, planta de maíz, así como de grano de maíz al término del crecimiento para efectuar la comparación entre tratamientos.



Figura 9. Cosecha de *Zea mays* y *Lupinus montanus* (septiembre 2008)



Análisis de suelo

Se tomaron muestras de suelo de forma aleatoria para su análisis; y se realizaron las pruebas que muestran el cuadro 3. De esta manera, se logró evaluar el efecto provocado por la leguminosa (*Lupinus*) al suelo concluido el tiempo de crecimiento.

PARÁMETRO	TÉCNICA UTILIZADA
pH	Potenciómetro en el extracto de saturación (Jackson, 1964)
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 suelos



Análisis de Plantas para la cuantificación de Nitrógeno y Fósforo

Para la cuantificación de nitrógeno y fósforo, se tomo en cuenta toda la planta de maíz, así como la mazorca de este, dentro del cual el grano fue el que se manejó. Las técnicas utilizadas para estas determinaciones fueron las siguientes:

PARÁMETRO	TÉCNICA UTILIZADA
Nitrógeno	Semimicro-kjeldahl (Bremmer, 1965)
Fósforo	Fotocolorimetría por reducción con molibdo- vanadato (Bremmer, 1965)

Cuadro 4. Procedimientos analíticos para el análisis plantas



V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El porcentaje de sobrevivencia de las plantas de *Lupinus montanus* que fueron utilizadas en este proyecto, fue del 55.55%; lo cual quiere decir que fue aceptable, ya que no se presentó una pérdida excesiva de estas plantas, aún considerando que las condiciones de suelo bajo las que se realizó el trabajo no presentan precisamente las características que se requieren para la siembra de *Lupinus montanus*; ya que este se adapta a suelos con características de ácidos. De manera específica el cuadro 5 muestra el porcentaje correspondiente en la sobrevivencia de las plantas.

No. de plantas utilizadas (transplantadas)	No. de plantas que sobrevivieron	% de sobrevivencia
27	15	55.55

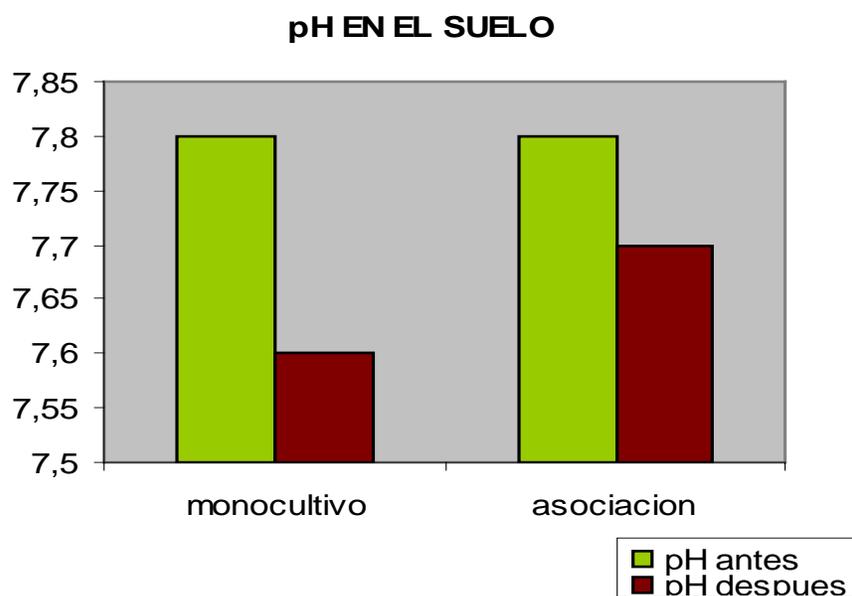
Cuadro 5. Porcentaje de sobrevivencia

Como lo muestra el cuadro anterior sobrevivieron el 55.55% de las plantas que inicialmente se transplantaron. Un factor para la mortalidad de las plantas, pudo ser ocasionado por la adaptación de lupinus a ese tipo de suelo; en donde el pH resulta como factor principal en la adaptación de *Lupinus montanus*; en esta caso el suelo característico del lugar presento pH alcalinos (Gráfica 1).



Así mismo, los datos son representados gráficamente; haciendo comparaciones de la disponibilidad de fósforo y nitrógeno en suelo, planta y grano; en condiciones de monocultivo y asociación de maíz-lupino. A la par la esquematización de las condiciones de pH, conductividad eléctrica y materia orgánica.

Todo esto se realizó para observar los cambios provocados en el maíz; (específicamente las variaciones de nitrógeno y fósforo), que *Lupinus montanus* pudo ocasionar. Para poder ampliar y confiar en los resultados obtenidos; los datos fueron sometidos a un análisis de varianza, haciendo comparación entre ellas para determinar la similitud o la no similitud entre tratamientos utilizando para ello el paquete estadístico StatGraphics versión 9.1



Gráfica 1. pH del suelo en comparación de monocultivo de *Zea mays* y asociación con *Lupinus montanus*



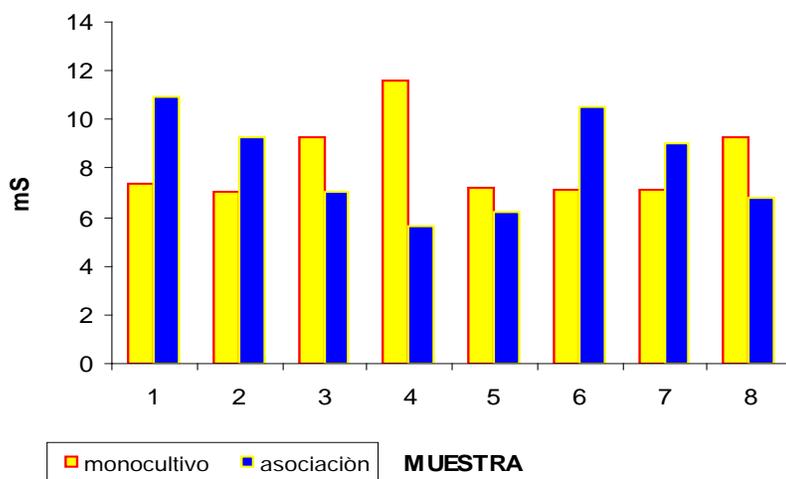
Como se puede observar en la gráfica 1, los valores de pH presentes en el suelo antes de montar el experimento denotan una cierta concentración de sales; ya que presentó un valor de 7.8 en ambos tratamientos. De la misma manera, esta gráfica muestra claramente los cambios en el pH del suelo en donde se tiene tratamiento de monocultivo con respecto al tratamiento que se llevo a cabo en asociación; ya que por un lado los valores que presenta el tratamiento en monocultivo disminuyen, presentando un promedio de 7.52 con respecto a los de asociación, que tuvieron un promedio de 7.68

Es importante mencionar que se esperaba que el pH en asociación resultara relativamente menor; ya que la planta de lupinus disminuye un poco el pH, debido a que las raíces de esta gramínea liberan iones H^+ mismo se esperaba que el suelo presentara cierta característica ácida. Sin embargo, como lo muestra esta gráfica las concentraciones de pH con respecto a los valores obtenidos antes del experimentos presentan una clara disminución, logrando de esta manera que aún con las concentraciones de pH lupinus tuviera un crecimiento satisfactorio.

Los 8 valores de pH asociación tienen una media de 7,6875 y una desviación estándar de 0,0991031, mientras que los 8 valores de pH monocultivo tienen una media de 7,525 y una desviación estándar de 0,0886405. Se realizó una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras, y una prueba-F para comparar las varianzas. Puesto que el valor-P para la prueba-t es menor que 0,05 se puede decir que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias, con un 5% de nivel de significancia (Ver datos en el anexo 1).



CONDUCTIVIDAD ELECTRICA



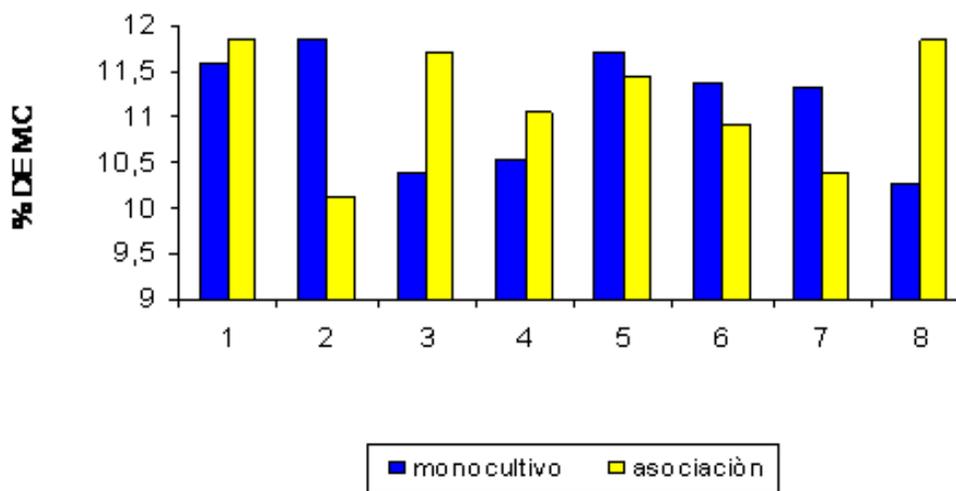
Gráfica 2. Cambio de la conductividad eléctrica en monocultivo y asociación con *Lupinus*

Lo que respecta a la conductividad, como lo muestra la gráfica anterior se exponen valores relativamente bajos; en donde la asociación con *Lupinus* presenta un conductividad eléctrica (CE) comparativamente menor teniendo muestras con un rango de 6.2 – 10.9mS teniendo un promedio de 8.18mS. Ahora bien, en el tratamiento de monocultivo se tuvieron valores que se encuentran entre el rango de 7.2 – 11.6mS en relación a un promedio de 8.24mS. Por lo cual tales datos nos llevan a determinar que el cambio presente en la CE no fue muy severo presentando una homogeneidad en la mayor parte del suelo.



Los 8 valores de CE asociación tienen una media de 8,18125 y una desviación estándar de 2,01509, mientras que los 8 valores de CE monocultivo tienen una media de 8,24625 y una desviación estándar de 1,65301. Al realizar una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras, y una prueba-F para comparar las varianzas; se obtuvo que el valor-P para la prueba-t es mayor ó igual que 0,05 lo cual indica que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias, con un 5% de nivel de significancia (anexo 2). De la misma manera, es posible mencionar que la CE suele ser uno de los parámetros representativos para determinar la posibilidad del uso del suelo.

% DE MATERIA ORGANICA



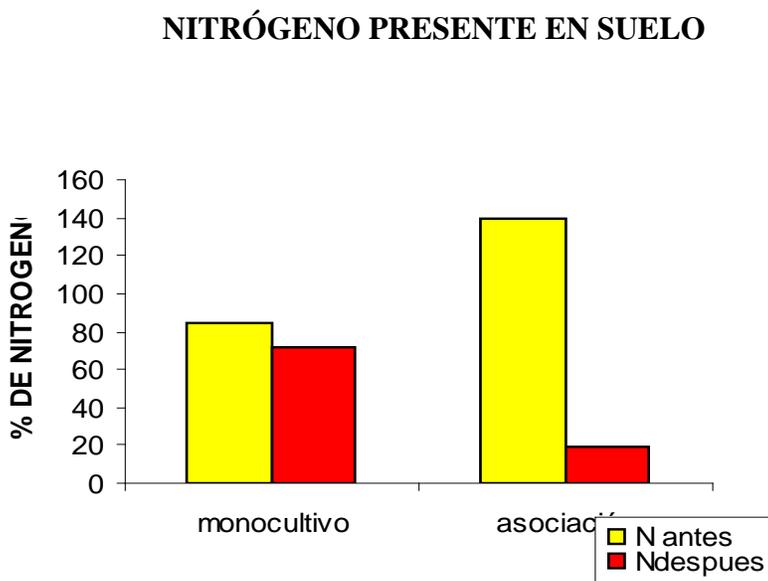
Gráfica 3. Comparación del porcentaje de materia orgánica en monocultivo y asociación con *Lupinus*



Es de suma importancia mencionar que la materia orgánica del suelo es el principal reservorio de nutrientes para las plantas y contribuye a la estabilización del suelo; de la misma manera influye favorablemente sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas; por lo cual resulta fundamental para obtener rendimientos elevados y estables en la agricultura convencional; logrando de alguna manera disminuir el consumo de fertilizantes que pudieran afectar la producción. Ahora bien, en la grafica 3 podemos observar que el sistema en asociación presenta un pequeño incremento en la proporción de materia orgánica. Aunque cabe resaltar que no existió una diferencia estadísticamente significativa, tal como lo muestra el anexo 3

Nitrógeno y Fósforo

Estos dos elementos fueron tomados en cuenta para su análisis, debido a que son elementos esenciales para el desarrollo y crecimiento de las plantas.



Grafica 4. Comparación relativa de la concentración de nitrógeno en el suelo tanto en monocultivo como en asociación, antes y después de montar el experimento

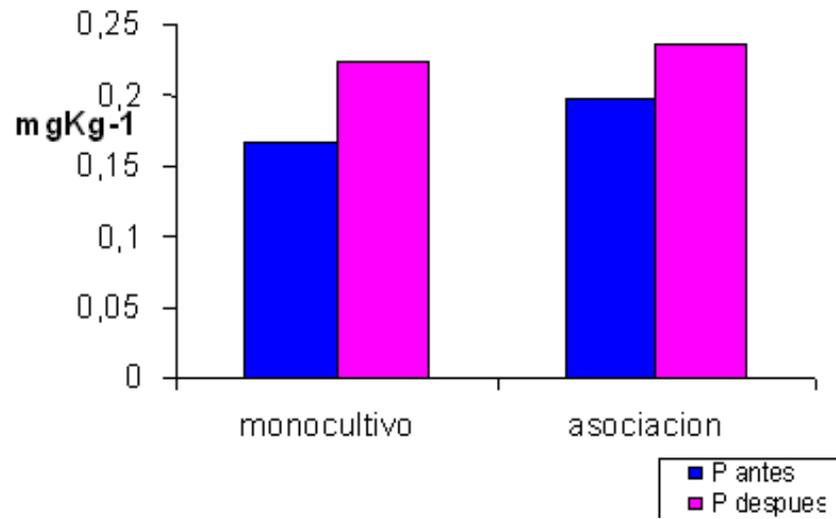


El nitrógeno presente en el suelo es de vital importancia para el desarrollo de las plantas, en este caso la grafica 4 marca una disminución importante en la concentración de nitrógeno en el tratamiento que se encontraba en asociación, con respecto al tratamiento en monocultivo, el cual presentó rangos mas elevados de Nitrógeno, hasta 89,2%; lo que indica que el cultivo sin intercalar mantuvo una mayor concentración de este en el suelo.

Puesto que el valor-P para la prueba-t es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias, con un 5% de nivel de significancia (ver anexo 4). Se observa de manera clara que hay una gran diferencia en el cambio de Nitrógeno presente en el suelo, donde las concentraciones en cultivo sin intercalar son elevadas con respecto al cultivo intercalado con *Lupinus*



FÓSFORO EN SUELO



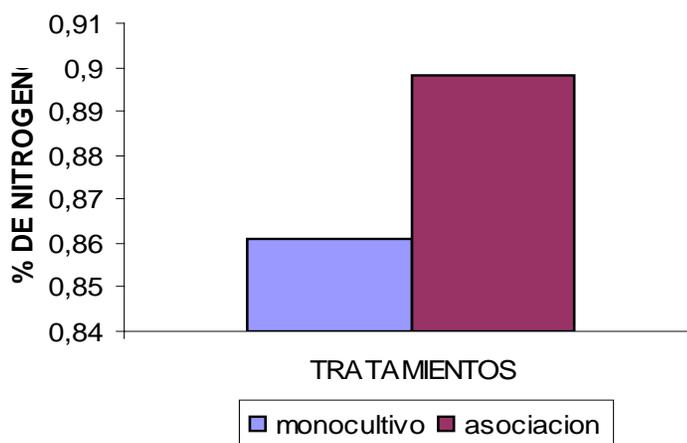
Grafica 5. Fósforo presente en el suelo en ambos tratamientos

Al igual que el nitrógeno el fósforo es un elemento de suma importancia para el desarrollo de las plantas; en este caso, como lo muestra la gráfica 5 es notable que no se observen cambios importantes en ambos tratamientos (anexo 5) a diferencia del nitrógeno. El incremento de fósforo en monocultivo fue menor que la asociación presentando un incremento de 0.236 mgkg^{-1} para este último



Por otro lado los análisis realizados en la planta de maíz y en el grano de este, con lo que respecta a la cuantificación de nitrógeno y fósforo aparecen expresados en las siguientes gráficas. Por un lado, se tienen las concentraciones de nitrógeno y fósforo en la planta de maíz.

NITRÓGENO EN PLANTA DE MAÍZ

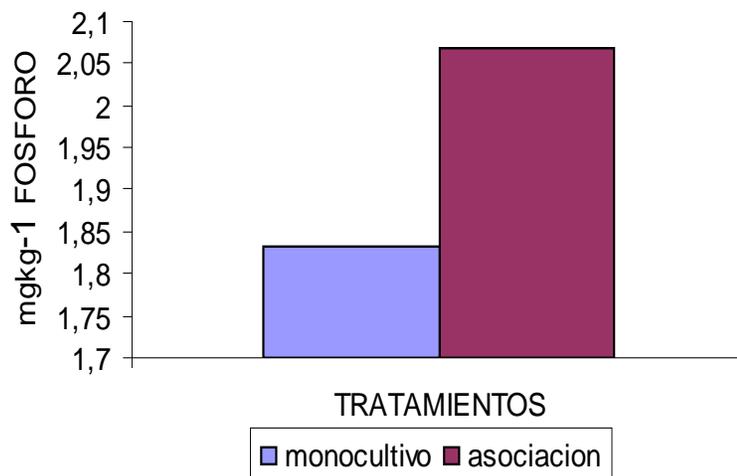


Grafica 6. Comparación de nitrógeno presente en maíz en monocultivo y maíz-lupinus

La cantidad de nitrógeno en el tejido vegetal de las plantas de maíz se incrementó ligeramente en el maíz en asociación; obteniendo un promedio de 0.898%. A pesar de que la diferencia en el contenido de nitrógeno entre tratamientos no resulta tan elevada (anexo 6), esta variación podría estar a favor del maíz asociado, ya que ha contribuido a que la absorción del nitrógeno vaya hacia el grano de maíz.



FÓSFORO EN PLANTA DE MAIZ



Grafica 7. Concentración de fósforo en los dos tratamientos

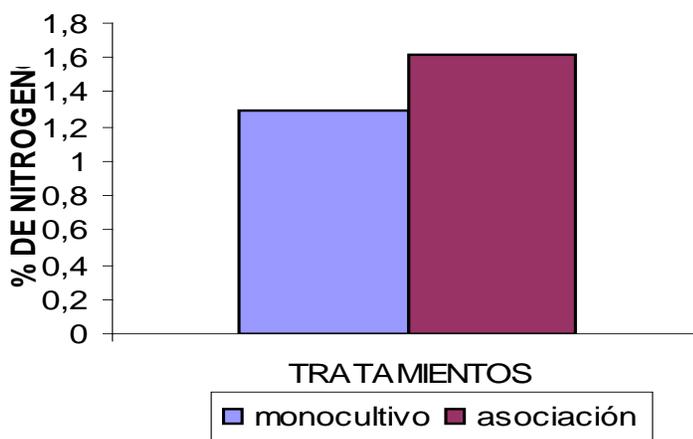
Ahora bien, lo contrario a la concentración de nitrógeno; la grafica 7 muestra que la cantidad de fósforo en el tejido vegetal del maíz que se encontraba asociado con Lupino presentó una mayor concentración con un promedio de 2.067mgkg^{-1} en comparación con aquel que se encontraba en monocultivo, el cual obtuvo un promedio de 1.833mgkg^{-1} . Debido quizá al mayor desarrollo radicular que presenta lupinus; lo cual le proporciona un mayor plano de exploración; esto también nos indica que lupinus favoreció la absorción de fósforo por el maíz.

Estadísticamente los tratamientos presentan diferencias significativas en la proporción de fósforo asimilado por las plantas de maíz; tal como lo muestra el anexo 7. El sistema en asociación presenta una mayor eficiencia a la absorción de fósforo.



De la misma manera, las siguientes gráficas muestran las concentraciones de nitrógeno y fósforo presentes en el grano de maíz

NITRÓGENO EN GRANO DE MAÍZ

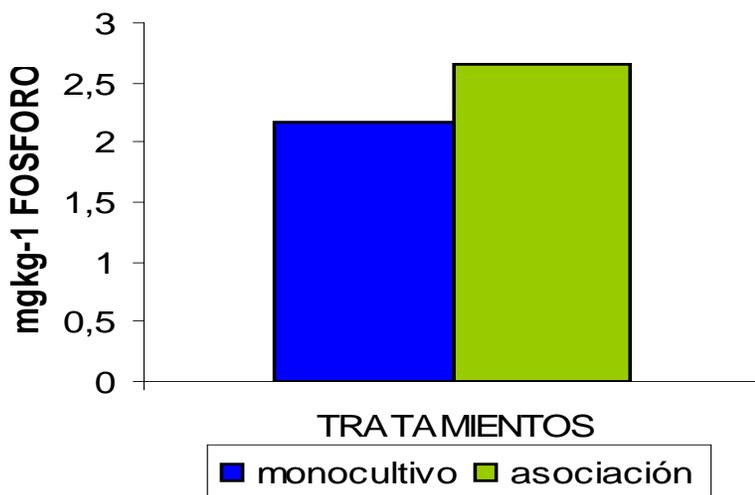


Gráfica 8. Contenido de Nitrógeno en grano de maíz

La gráfica 8 marca claramente que el contenido de nitrógeno en el grano de maíz presenta un aumento en el sistema en asociación en contraste a las concentraciones presentes en monocultivo, así como el porcentaje acumulado en el suelo. Por lo que se indica que la habilidad de *Lupinus* para captar el nitrógeno, y hacerlo disponible en el suelo fue aprovechado favorablemente por el maíz teniendo el grano la mayor concentración de Nitrógeno. Debido a ello se muestra que este tendrá un mayor valor nutricional. Por otro lado, puesto que el valor-P es menor que 0,05 (P-0,028), existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias, con un 5% de nivel de significancia (ver anexo 8).



FOSFORO EN GRANO DE MAIZ



Gráfica 9. Fósforo en grano de maíz

La gráfica 9 muestra que cuando el maíz se encontró asociado con lupinus presentó un aumento de fósforo, logrando obtener concentraciones de 3.725mgkg^{-1} en algunas muestras, obteniendo de esta manera un promedio de $2,662\text{mgkg}^{-1}$ en la concentración de fósforo. Esto quiere decir que lupinus mejoro el contenido de fósforo en grano; lo que indica que el maíz es capaz de aprovechar los nutrientes liberados por el desarrollo de lupinus logrando así que se eleven las concentraciones de nutrientes esenciales; en este caso fósforo. Todo esto muestra la habilidad competitiva de los componentes del sistema en asociación. Los 8 valores de P asociación tienen una media de $3,04988$ y una desviación estándar de $0,380936$, mientras que los 8 valores de P monocultivo tienen una media de $2,16975$ y una desviación estándar de $0,195029$ y llevada a cabo la prueba-t para comparar las medias de las dos muestras, y una prueba-F para comparar las varianzas se determino que el valor-P para la prueba-t es menor que $0,05$, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias, con un 5% de nivel de significancia (anexo 9).



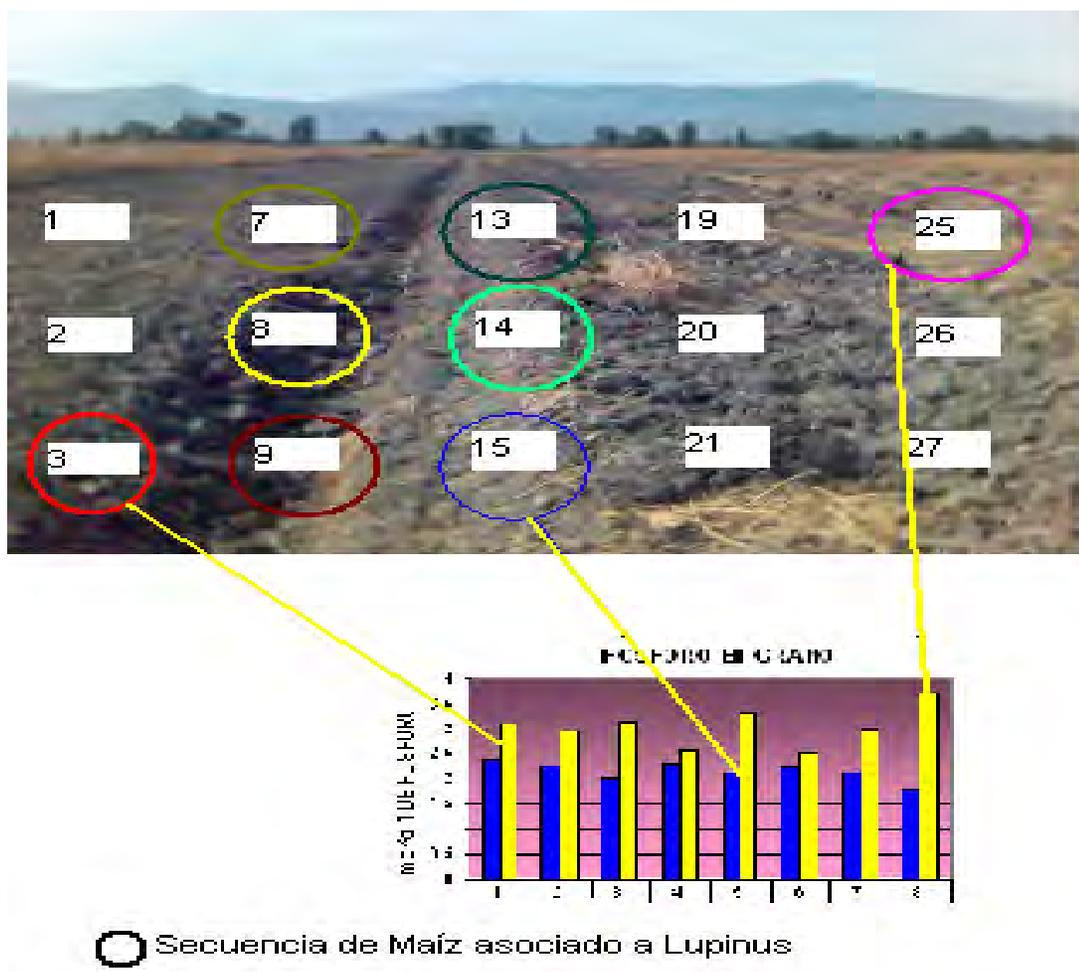
5.1 DISCUSIÓN GENERAL

Los resultados sugieren un efecto positivo sobre el desarrollo de lupinus, debido a combinado con maíz, esto debido a la capacidad que este presenta para adaptarse al tipo de suelo en el que se llevó a cabo el experimento; puesto que el suelo presentó características de alcalinidad, tal como lo muestra los resultados de pH; y logrando así que el maíz se beneficiara, debido a la capacidad que tiene lupinus para captar nitrógeno y solubilizar fósforo; tal como lo muestra las graficas 8 y 9, en donde tales resultados muestran que el grano de maíz presentara las mayores concentraciones de nitrógeno y fósforo. Es claro mencionar que lupinus es una especie de suelos ácidos, y los resultados muestran que su adaptación fue favorable a los suelos alcalinos y en asociación con el maíz. Esto se corrobora con la grafica 1 que muestra pH superiores a 7 donde lupinus a pesar de no adquirir gran tamaño como en suelos ácidos, la especie resistió y se desarrolló satisfactoriamente.

Los resultados arrojados por la asociación maíz Lupinus resultan sumamente favorables; las muestras que fueron tomadas aleatoriamente apuntan a un aumento significativo en las concentraciones de nitrógeno y fósforo en grano, lo que hace que este grano presente un mayor valor nutricional. Cabe resaltar también, que la muestra que fue tomada en donde se colocó 1 planta de maíz asociada a 3 plantas de lupinus, fue la que presentó mayores valores tanto de nitrógeno como de fósforo en planta y grano; así como la disminución de la conductividad eléctrica. Esto resultó favorable para el aumento de nutrientes debido al aumento de plantas de lupinus que a la vez aumentaron la fijación de nitrógeno así como la mayor disposición de fósforo.



Distribución espacial de maíz y lupinus en el ejido de Tlahuac



El mapa anterior describe de manera general la forma en que fueron tomadas las muestras de maíz para su análisis, las muestras que presentaron los resultados más elevados con respecto a fósforo y nitrógeno; la gráfica muestra específicamente el resultado de fósforo.



Aunque el maíz respondió favorablemente en los dos tratamientos, en general, se observó un incremento en el tratamiento que se encontraba en asociación maíz-lupino; ya que como lo mostraron las gráficas presentó una mayor concentración de elementos tales como el nitrógeno y el fósforo, que le permiten un mayor desarrollo. De la misma manera hubo un crecimiento favorable del maíz y lupinus, tomando como consideración que *Lupinus montanus* puede desarrollarse en lugares donde otro tipo de leguminosa no, al mismo tiempo tomando la ventaja de que crecen a altitudes variadas por lo cual tales características pueden permitir que el suelo mantenga ciertas concentraciones de nitrógeno y fósforo, listos para otro cultivo.

En un trabajo previo (Espinosa *et al.* 2001) se estudió la asociación maíz-Lupinus mediante un experimento de invernadero en donde se probaron tres fuentes de fósforo y dos sistemas de aplicación de fertilizantes; incorporada y localizada; en donde se obtuvo una mayor cantidad de fósforo en el tejido vegetal, un 19.5% superior al existente en monocultivo y al mismo tiempo el incremento de nitrógeno fue ligeramente mayor; en donde a la vez la mejor respuesta se tuvo con superfosfato triple. En donde señalaron que la aplicación de fertilizantes con Fósforo incremento significativamente el rendimiento. En este estudio, se analizaron los efectos de la siembra del maíz con respecto a la siembra de la asociación maíz- lupinus la cual se llevo a cabo sin aplicación de fertilizantes, en donde se obtuvo una mayor concentración de nitrógeno y fósforo; esto en aquella siembra que se encontraba en asociación con lupinus, obteniendo de esa manera un rendimiento mayor. Espinosa ha trabajado con lupinus en su medio natural y bajo condiciones controladas, contrario a este experimento donde se saca a la especie de los suelos ácidos para llevarlos a suelos con pH mayores a 7 y se demostró que se puede adaptar a estas características y puede hacer un aumento de los nutrimentos esenciales



De acuerdo con cifras de la FAO (1994), el consumo de nitrógeno en el país se ha incrementado recientemente y representa más de 50% del total de los fertilizantes utilizados en el sector agrícola. Frente a esta dependencia, resulta importante considerar la existencia de especies con la capacidad de fijar N atmosférico, cuyo impacto en la sustentabilidad de los sistemas no se ha dimensionado en toda su magnitud. En este caso se comprobó que lupinus es una leguminosa eficiente en la fijación de nitrógeno, así como favorece la disposición del fósforo para otras plantas que se encuentren asociadas a él sin la necesidad de una aplicación de fertilizantes; ya que lupinus posee un sistema de raíces profundas que le permite una mayor exploración del suelo y de la misma manera disponer de una mayor cantidad de nutrientes necesarios para el buen desarrollo de las plantas. En este caso la raíz de Lupinus presentó una unión a las raíces del maíz, haciendo de esta forma que la asimilación de los elementos por parte del maíz fuera más eficiente (figura 10).

De la misma manera este sistema de raíces ayudan a la adquisición de nutrientes presentes en el suelo que no son solubles y que están atrapados en su mayoría en forma de minerales; haciéndolos solubles y disponibles para las plantas.



Figura 10. Raíces de Lupinus



Estos resultados confirman lo señalado por Hardarson *et al.* (1987) y FAO (1984) quienes indicaron que entre las leguminosas de grano, el haba, el fríjol de árbol y los lupinos se han indicado como muy eficientes en la fijación simbiótica de nitrógeno; mientras que otros, como: soya , maní están en el promedio; en tanto que fríjol común y arveja son pobres fijadores de nitrógeno atmosférico.

El éxito productivo de la asociación Maíz-Lupinus encierra también una ventaja en la estabilidad económica para el agricultor, ya que puede disponer de dos fuentes de ingreso para una misma unidad de terreno. La práctica de sistemas convencionales por parte de los agricultores tiene algunas desventajas, ya que por un lado restringe en algunas ocasiones la mecanización a la preparación del terreno a la vez que suele ser necesaria una estimación previa de los costos de producción incluyendo el riego que es un factor indispensable en la agricultura de la zona; así como disposición y utilización de fertilizantes; que pueden a su vez causar riesgos al suelo tal como la baja productividad debido al proceso de degradación que estos pueden ocasionar; y en algunas ocasiones solo disponen de una sola fuente de ingresos.

Debido a tales efectos las asociaciones pueden brindar el beneficio de mayor producción, mejoramiento de suelos, mayor fuente de ingresos, menor costo de producción, efecto de alelopatía, entre otros. En este experimento se pudieron observar tales características; ya que por un lado existió una mayor concentración de nitrógeno y fósforo en los sistemas que se encontraron en asociación con lupinus, se disminuyó el riesgo de contaminación de los suelos ya que no existió una aplicación de fertilizantes y también se pudo observar que lupinus produjo un efecto inhibitorio contra otras plantas, provocando de esta forma un mejor crecimiento y evitando así la competencia con otras especies y la pérdida de nutrientes.



Fig. 11. Efecto inhibitorio por parte de Lupinus

Si bien los rendimientos de los cultivos de maíz sin asociación fueron inferiores a los obtenidos bajo sistemas asociados, la eficiencia en el uso del suelo fue superior en estos últimos, puesto que los nutrimentos que se encontraban en el suelo o que fueron provistos por este, fueron absorbidos satisfactoriamente por el maíz logrando así una mayor concentración de nutrientes.

Por otro lado la presencia de materia orgánica (MO) hizo mayor el aprovechamiento de nitrógeno y fósforo; ya que debido a la actividad biológica en el suelo, se pueden desarrollar bacterias noduladoras que permiten la fijación efectiva del nitrógeno y a la vez la acidificación de la rizósfera lo que llevó a la obtención y aprovechamiento del fósforo que se encontraba en el suelo, es decir, lo hizo asimilable para el maíz.

Esa materia orgánica debe encontrarse presente, pero además debe estar disponible para su utilización por los microorganismos del suelo. Hasta el momento en el que la



bacteria se asocia con la planta y se independiza del suelo, depende exclusivamente de los factores del mismo, que también actúan sobre la planta.

La mayoría de las leguminosas son noduladas por los rizobios. La fijación de nitrógeno en la simbiosis rizobio-leguminosa es de considerable importancia en agricultura, porque causa un aumento significativo del nitrógeno combinado en el suelo. Dado que la carencia de nitrógeno suele darse en suelos desnudos y sin abonar, las leguminosas noduladas ofrecen una ventaja selectiva en tales condiciones y pueden crecer bien en zonas donde no lo harían otras plantas (López-Lara, 1995). Es por ello que se empleó lupinus en este experimento, debido a que es una leguminosa noduladora capaz de reforestar zonas áridas o utilizarse en lugares de poca producción.

No hay que olvidar que si bien actualmente se paga por cantidad de grano y no tanto por calidad, es necesario tener en cuenta que no podemos dejar deprimir la calidad, ya que numerosos países están comenzando a pagar en función de la calidad de los mismos. En algunas ocasiones se incrementa la fertilización para lograr mayores rendimientos, pero existe un deterioro de la fijación de algunas leguminosas, con lo cual se deprime la calidad de los granos, es decir, el porcentaje de nitrógeno que poseen, y con lo cual no estamos dejando que se exprese el proceso de fijación



Cuando se fertiliza, la tendencia es generar más granos por hectárea, pero se debe hacer cuidando que la fertilización no deprima la fijación del N atmosférico. La fertilización debe ser usada porque es necesaria, para aumentar la proporción de N inicial y para que la planta respondió energéticamente, de acuerdo con las necesidades del proceso de fijación; por ello es importante hacer un estudio adecuado para determinar la cantidad de N a aplicar mediante el fertilizante, para aprovechar por un lado el aporte de la fijación de N y por otro hacer un uso adecuado del fertilizante, evitando incurrir en costos innecesarios.

Son estas formas simbióticas, concretamente las establecidas entre las rizobiáceas y las leguminosas, las que antiguamente eran aprovechadas para la renovación de los suelos mediante la práctica de la rotación de cultivos; hoy en día sin embargo, desde la aparición de la “revolución verde” en agricultura, esta práctica se ha sustituido por la utilización de fertilizantes químicos a pesar del elevado costo energético y ambiental que supone. Para poder disminuir la dependencia a fertilizantes nitrogenados que está adquiriendo la agricultura mundial se han propuesto varias alternativas que abarcan desde la modificación genética de las plantas a la optimización y mejora de la fijación biológica de nitrógeno.

En este trabajo se presentan los resultados de un experimento de asociación de maíz y lupinus, el cual constituye en inicio de una serie de estudios tendientes a evaluar biológica y agrónomicamente varios policultivos con lupinus, empleando un enfoque ecofisiológico que permita plantear suposiciones sobre el funcionamiento de dichos sistemas.

Visto de manera global, el éxito obtenido por las asociaciones maíz-lupinus en relación a su monocultivo en el presente trabajo, refleja una mejor utilización de los recursos por parte de las primeras. Los valores relativamente más altos en la concentración



de nutrimentos (1.62 para nitrógeno y 2.662 para fósforo, en promedio), especialmente en comparación con el monocultivo de maíz, sugiere una mayor asimilación de los nutrimentos provenientes del suelo.

Los alimentos cultivados con productos químicos, además de disminuir la calidad de los productos para el consumidor, resultan también dañinos para el desarrollo de la estructura vegetal, de la misma manera el uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados en agricultura ha ocasionado graves problemas de contaminación. No todo el fertilizante que se aplica lo aprovecha la planta sino que en una porción importante acaba en lagos y lagunas.

Es importante mencionar que los sistemas tradicionales de cultivo, se han ido desplazando debido a la mayor utilización de productos químicos, tales como fertilizantes, los cuales si bien aumentan la producción de grano, a la vez disminuyen el valor nutricional de este. Es realmente importante, no solo producir una mayor cantidad de grano, sino aumentar el valor nutricional; este puede hacerse a través de la implementación de nuevos sistemas de asociación que puedan proveer un mayor efecto sobre la producción de nutrientes.

De esta manera los resultados obtenidos permiten varias posibilidades de elección; los cuales dependen de intereses particulares. No obstante su difusión en ciertas áreas, así como los esfuerzos dedicados a la investigación en cultivos múltiples, los cuales son pequeños si se comparan con los que se destinan a monocultivo; pero es importante mencionar que publicaciones sobre el tema en años recientes sugieren que comienza el interés por la comprensión del funcionamiento de los cultivos en asociación; lo cual sin duda es una condición necesaria para su mejoramiento



VI. CONCLUSIONES

Lupinus montanus demostró ser una alternativa efectiva para el aumento de nutrientes esenciales en el grano de maíz particularmente en suelos de los humedales de Tlahuac, los cuales solo permiten desarrollar plantas con afinidad a la salinidad. Esto puede ser útil para el sistema agrícola, ya que puede tener una mayor producción de grano y a la vez la utilización de suelos que suelen presentarse con baja productividad; y así mejorar los rendimientos a través de un superior uso de los nutrientes disponibles en el suelo.

Lupinus montanus es capaz de adaptarse a condiciones de salinidad (pH elevados), es por ello que se puede concluir que lupinus es capaz de adaptarse a otro tipo de suelo.

Del mismo modo es posible abastecer de nutrimentos de forma continua y eficiente a los suelos agrícolas que presentan problemas de producción. Es por ello que podemos concluir que la técnica resulta económica y sumamente practica; provocando que de esta manera se incremente producción y reduzcan los costos de la misma.

La fijación biológica de nitrógeno es la opción natural a la fertilización química. Los productos biológicos en este caso asociados, poseen más materia seca y por lo tanto mayor valor nutritivo.

Las plantas de maíz que se encontraron asociados a *Lupinus montanus*, especialmente aquellos que se encontraron en una relación 1:3 (1 de maíz – 3 de lupinus) presentaron un mayor nivel en la concentración de nitrógeno y fósforo; lo cual indica que un mayor numero de plantas de lupinus asociadas al maíz incrementara relativamente la concentración de nutrimentos.



En este caso *Lupinus montanus*, resultó ser una nueva alternativa de asociación que provee un mayor rendimiento en cuanto a la absorción de nutrientes, haciendo que otras plantas, en este caso maíz posean una mayor concentración de elementos indispensables para su desarrollo.

Por último se concluye que *Lupinus* es una alternativa que nos permite mejorar la calidad de grano, así como la calidad del suelo. Es la introducción de una nueva asociación que nos permitirá ofrecer ventajas importantes para los agricultores; tales como la baja de costos en los cultivos, reduciendo la utilización de fertilizantes e insecticidas (algunos productos químicos), y la mas importante, evitando el abandono de suelos que son utilizados para la obtención de productos básicos, y de esta forma evitar que estos suelos sean destinados para el crecimiento urbano.



VII. ANEXOS

1. Comparación estadística de los dos tratamientos

SnapStat: Comparación de Dos Muestras

	pH-asociacion	pH-monocultivo
Recuento	8	8
Promedio	7,6875	7,525
Desviación Estándar	0,0991031	0,0886405
Coefficiente de Variación	1,28915%	1,17795%
Mínimo	7,5	7,4
Máximo	7,8	7,6
Rango	0,3	0,2
Sesgo Estandarizado	-0,995674	-0,710552
Curtosis Estandarizada	0,485241	-0,855051

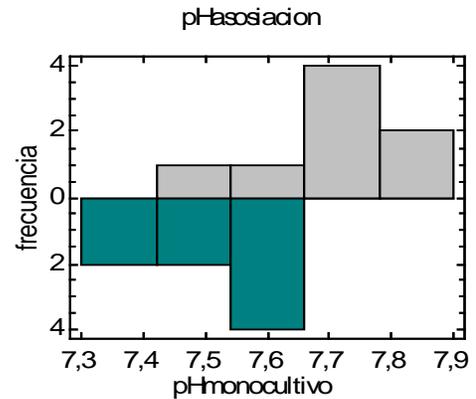
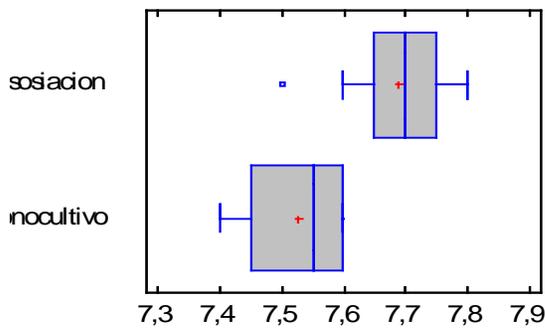


Gráfico Caja y Bigotes



Intervalos de confianza del 95%

Dif. de medias 0,1625 +/- 0,100824 [0,0616761; 0,263324]
Razón de varianzas [0,250255; 6,24364]

Comparación de Medias

Hipótesis Nula: diferencia = 0

estadístico t = 3,4568 Valor-P Bilateral = 0,0039

Comparación de Sigmas

Hipótesis Nula: razón = 1

Estadístico F = 1,25 Valor-P Bilateral = 0,7760

Diagnósticos

Valores-P Shapiro-Wilks = 0,1576 y 0,0203

Gráfico de Cuantiles

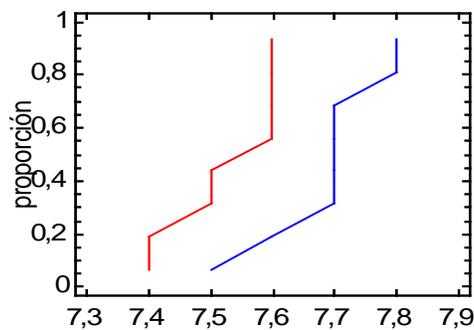
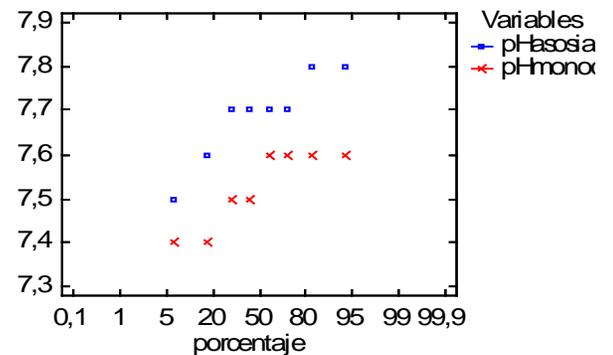


Gráfico de Probabilidad Normal





2. Datos estadísticos de la conductividad eléctrica en los dos tratamientos

SnapStat: Comparación de Dos Muestras

	CEasociacion	CEmonocultivo
Recuento	8	8
Promedio	8,18125	8,24625
Desviación Estándar	2,01509	1,65301
Coefficiente de Variación	24,6306%	20,0456%
Mínimo	5,61	7,01
Máximo	10,91	11,6
Rango	5,3	4,59
Sesgo Estandarizado	0,171594	1,62355
Curtosis Estandarizada	-1,01357	0,76967

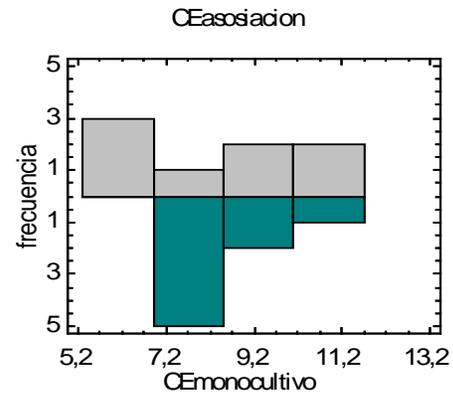
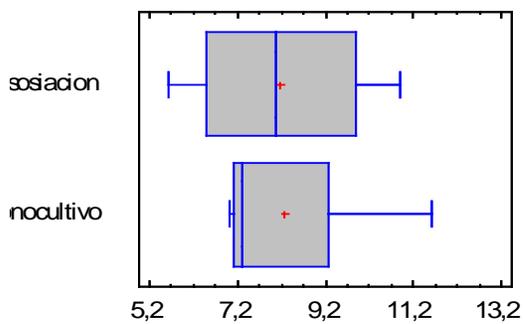


Gráfico Caja y Bigotes



Intervalos de confianza del 95%
 Dif. de medias: $-0,065 \pm 1,97639$ $[-2,04139; 1,91139]$
 Razón de varianzas $[0,297514; 7,42272]$

Comparación de Medias
 Hipótesis Nula: diferencia = 0
 estadístico $t = -0,0705385$ Valor-P Bilateral = 0,9448

Comparación de Sigmas
 Hipótesis Nula: razón = 1
 Estadístico $F = 1,48606$ Valor-P Bilateral = 0,6142

Diagnósticos
 Valores P Shapiro-Wilks = 0,4299 y 0,0139
 Autocorrelación en Retraso 1 = $0,2079 \pm 0,6930$, $0,0491 \pm 0,6$

Gráfico de Cuantiles

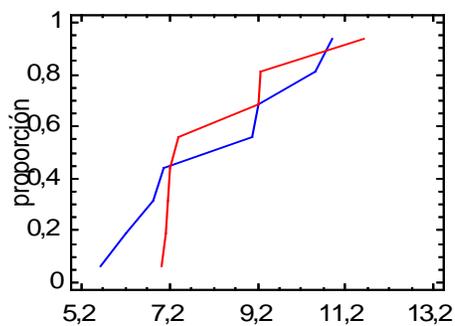
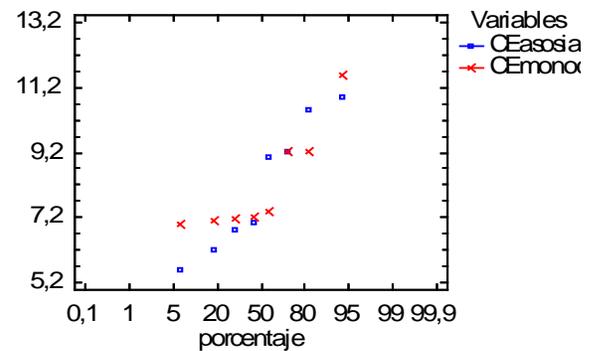


Gráfico de Probabilidad Normal





3. Análisis estadístico de materia orgánica (MO)

SnapStat: Comparación de Dos Muestras

	MOcasosion	MOmonocultivo
Recuento	8	8
Promedio	11,1638	11,1225
Desviación Estándar	0,649768	0,624448
Coefficiente de Variación	5,82034%	5,61428%
Mínimo	10,14	10,27
Máximo	11,83	11,83
Rango	1,69	1,56
Sesgo Estandarizado	-0,615455	-0,494319
Curtosis Estandarizada	-0,691317	-1,09689

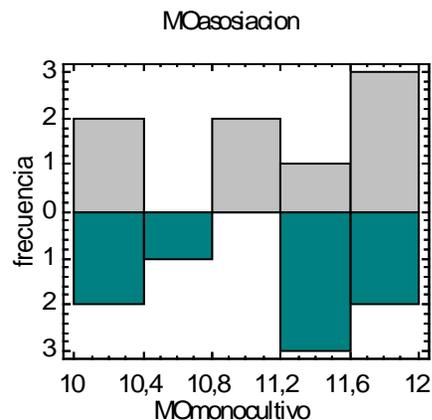
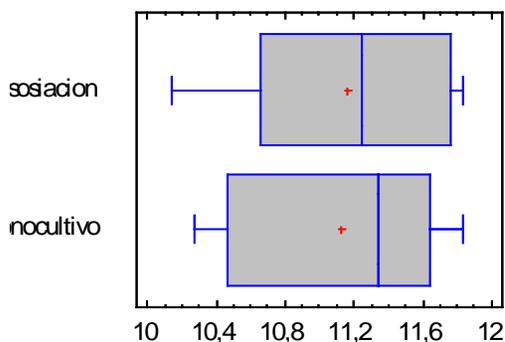


Gráfico Caja y Bigotes



Intervalos de confianza del 95%
 Dif. de medias 0,04125 +/- 0,683367 [-0,642117; 0,724617]
 Razón de varianzas [0,216768; 5,40818]

Comparación de Medias
 Hipótesis Nula: diferencia = 0
 estadístico t = 0,129466 Valor-P Bilateral = 0,8988

Comparación de Sigmas
 Hipótesis Nula: razón = 1
 Estadístico F = 1,08274 Valor-P Bilateral = 0,9192

Diagnósticos
 Valores-P Shapiro-Wilks = 0,3194 y 0,1528

Gráfico de Cuantiles

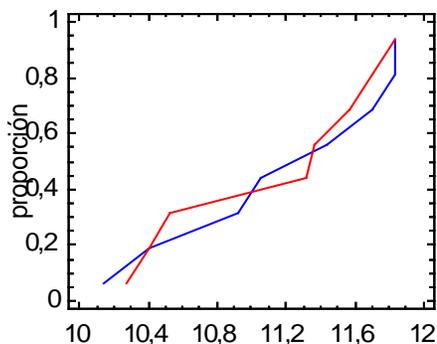
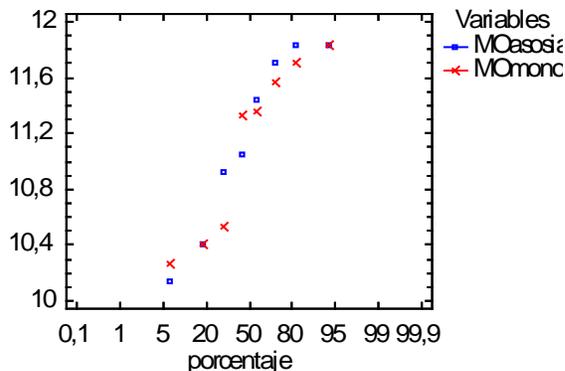


Gráfico de Probabilidad Normal





4. Datos estadísticos del Nitrógeno en el suelo

SnapStat: Comparación de Dos Muestras

	Nasosiacion	Nmonocultivo
Recuento	8	8
Promedio	19,6875	71,7587
Desviación Estándar	13,4826	25,9674
Coefficiente de Variación	68,4832%	36,1871%
Mínimo	10,5	10,5
Máximo	49	89,2
Rango	38,5	78,7
Sesgo Estandarizado	2,03262	-2,74188
Curtois Estandarizada	1,79295	3,38274

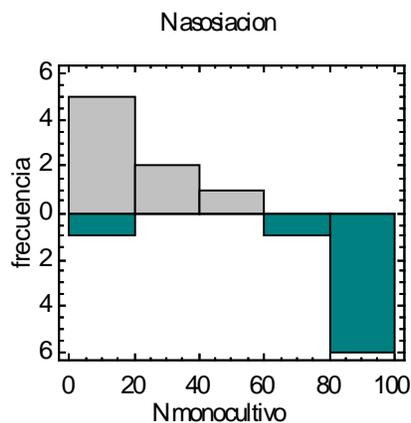
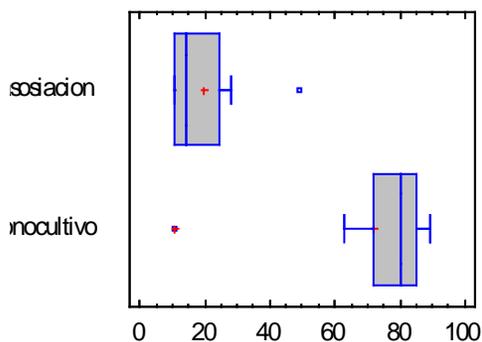


Gráfico Caja y Bigotes



Intervalos de confianza del 95%
 Dif. de medias -52,0712 +/- 22,187 [-74,2583; -29,8842]
 Razón de varianzas [0,0539716; 1,34654]

Comparación de Medias
 Hipótesis Nula: diferencia = 0
 estadístico t = -5,03366 Valor-P Bilateral = 0,0002

Comparación de Sigmas
 Hipótesis Nula: razón = 1
 Estadístico F = 0,269583 Valor-P Bilateral = 0,1051

Diagnósticos
 Valores-P Shapiro-Wilks = 0,0108 y 0,0009
 Autocorrelación en Retraso 1 = -0,0098 +/- 0,6930, 0,0960 +/- 0,

Gráfico de Cuantiles

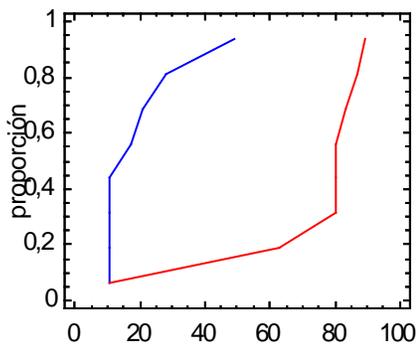
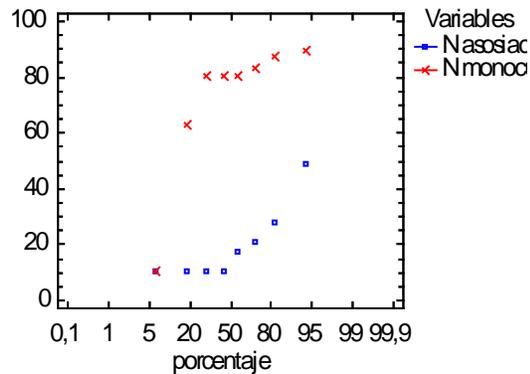


Gráfico de Probabilidad Normal

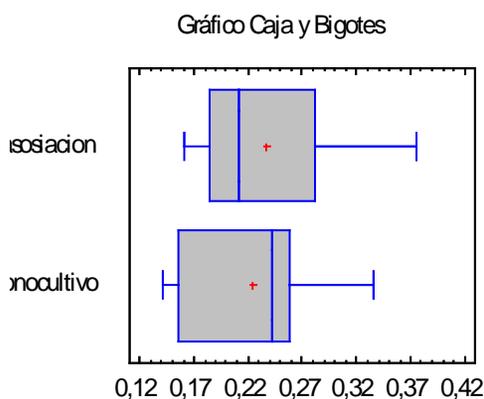
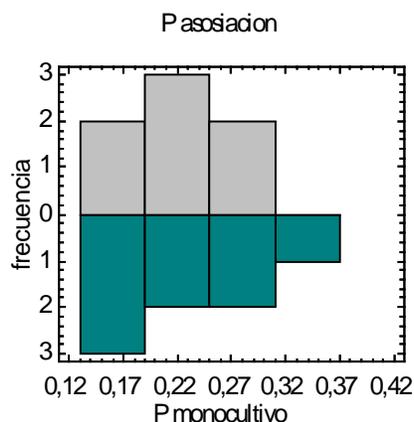




5. Análisis estadístico de fósforo en el suelo

SnapStat: Comparación de Dos Muestras

	P asociacion	P monocultivo
Recuento	8	8
Promedio	0,236125	0,22325
Desviación Estándar	0,072509	0,0672899
Coefficiente de Variación	30,7079%	30,141%
Mínimo	0,161	0,142
Máximo	0,375	0,336
Rango	0,214	0,194
Sesgo Estandarizado	1,28681	0,25729
Curtosis Estandarizada	0,330661	-0,395202

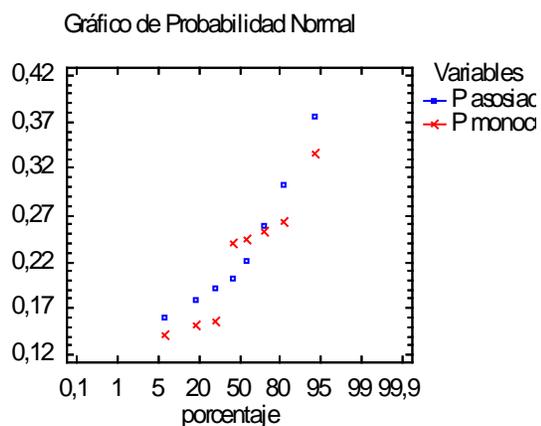
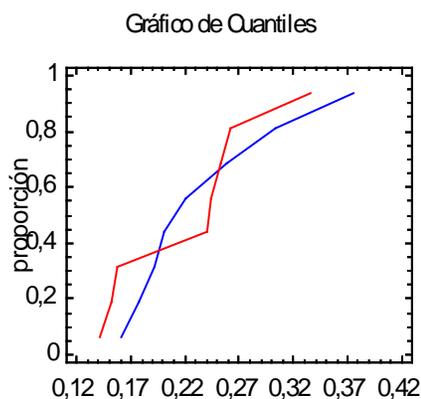


Intervalos de confianza del 95%
 Dif. de medias 0,012875 +/- 0,0750121 [-0,0621371; 0,08788]
 Razón de varianzas [0,232464; 5,79978]

Comparación de Medias
 Hipótesis Nula: diferencia = 0
 estadístico t = 0,36813 Valor-P Bilateral = 0,7183

Comparación de Sigmas
 Hipótesis Nula: razón = 1
 Estadístico F = 1,16114 Valor-P Bilateral = 0,8488

Diagnósticos
 Valores-P Shapiro-Wilks = 0,2985 y 0,2928
 Autocorrelación en Retraso 1 = 0,1890 +/- 0,6930, 0,4386 +/- 0,6





6. Comparación estadística de Nitrógeno en la planta de maíz

SnapStat: Comparación de Dos Muestras

	Nasociacion	Nmonocultivo
Recuento	3	3
Promedio	0,898333	0,861
Desviación Estándar	0,0652406	0,187
Coefficiente de Variación	7,2624%	21,7189%
Mínimo	0,823	0,674
Máximo	0,936	1,048
Rango	0,113	0,374
Sesgo Estandarizado	-1,22474	0,0
Curtosis Estandarizada		

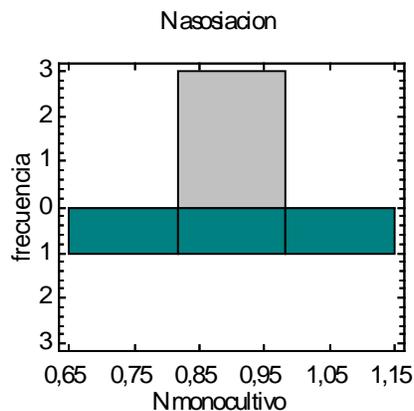
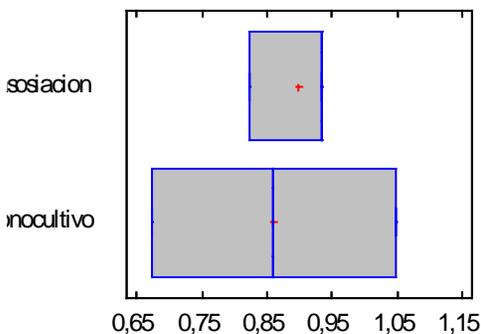


Gráfico Caja y Bigotes



Intervalos de confianza del 95%
 Dif. de medias: 0,0373333 +/- 0,317478 [-0,280144; 0,354811]
 Razón de varianzas [0,00312096; 4,74698]

Comparación de Medias
 Hipótesis Nula: diferencia = 0
 estadístico t = 0,326493 Valor-P Bilateral = 0,7604

Comparación de Sigmas
 Hipótesis Nula: razón = 1
 Estadístico F = 0,121717 Valor-P Bilateral = 0,2170

Diagnósticos
 Valores-P Shapiro-Wilks = 0,0000 y 0,9999

Gráfico de Cuantiles

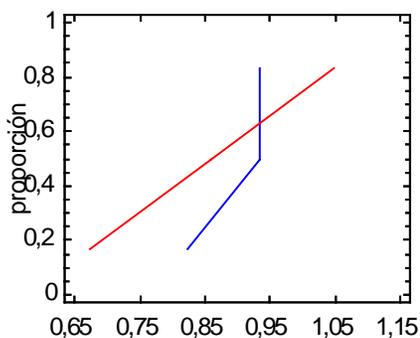
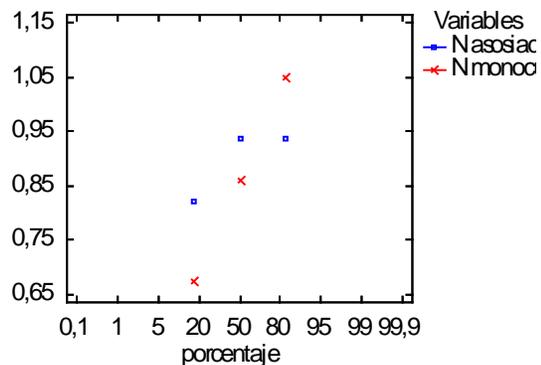


Gráfico de Probabilidad Normal





7. Fósforo en planta de maíz

SnapStat: Comparación de Dos Muestras

	P asociacion	P monocultivo
Recuento	3	3
Promedio	2,067	1,83367
Desviación Estándar	0,275703	0,0847132
Coefficiente de Variación	13,3383%	4,61988%
Mínimo	1,821	1,756
Máximo	2,365	1,924
Rango	0,544	0,168
Sesgo Estandarizado	0,578801	0,465145
Curtosis Estandarizada		

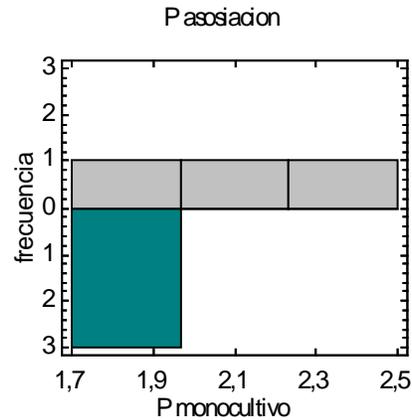
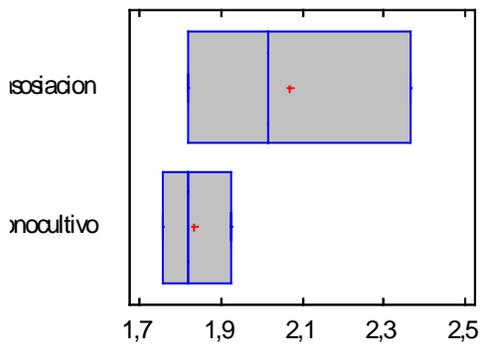


Gráfico Caja y Bigotes



Intervalos de confianza del 95%
 Dif. de medias 0,233333 +/- 0,46234 [-0,229006; 0,695673]
 Razón de varianzas [0,271591; 413,09]

Comparación de Medias
 Hipótesis Nula: diferencia = 0
 estadístico t = 1,40122 Valor-P Bilateral = 0,2338

Comparación de Sigmas
 Hipótesis Nula: razón = 1
 Estadístico F = 10,592 Valor-P Bilateral = 0,1725

Diagnósticos
 Valores-P Shapiro-Wilks = 0,6866 y 0,7520

Gráfico de Cuantiles

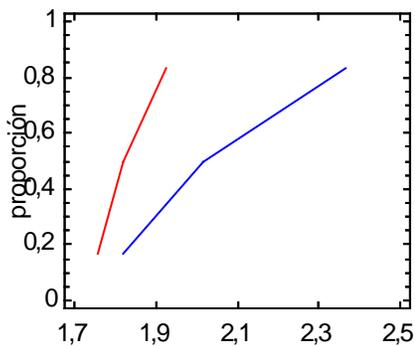
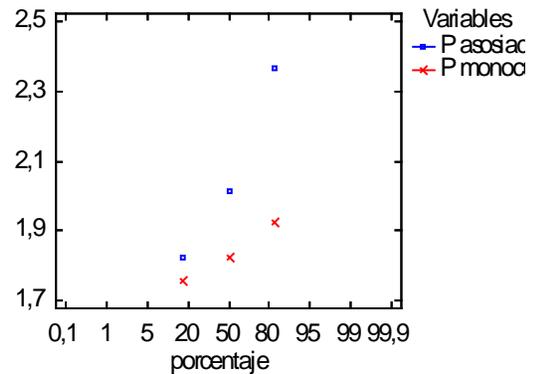


Gráfico de Probabilidad Normal





8. Diferencia de nitrógeno en el grano de maíz

SnapStat: Comparación de Dos Muestras

	Nasoasiacion	Nmonocultivo
Recuento	8	8
Promedio	1,62275	1,29688
Desviación Estándar	0,237855	0,293789
Coefficiente de Variación	14,6575%	22,6536%
Mínimo	1,273	0,987
Máximo	1,989	1,872
Rango	0,716	0,885
Sesgo Estandarizado	-0,000429056	1,12273
Curtois Estandarizada	-0,496182	0,580971

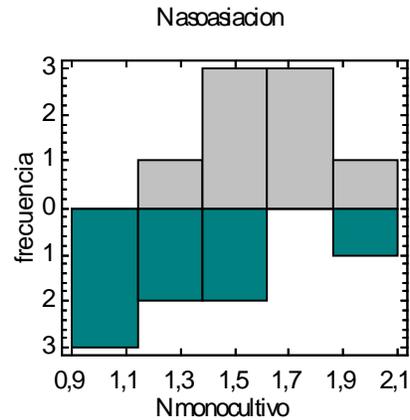
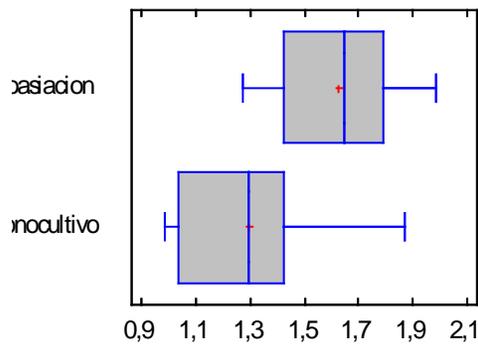


Gráfico Caja y Bigotes



Intervalos de confianza del 95%
 Dif. de medias 0,325875 +/- 0,28664 [0,0392353; 0,612515]
 Razón de varianzas [0,131228; 3,27403]

Comparación de Medias
 Hipótesis Nula: diferencia = 0
 estadístico t = 2,43837 Valor-P Bilateral = 0,0287

Comparación de Sigmas
 Hipótesis Nula: razón = 1
 Estadístico F = 0,655473 Valor-P Bilateral = 0,5910

Diagnósticos
 Valores-P Shapiro-Wilks = 0,8705 y 0,2566
 Autocorrelación en Retraso 1 = 0,0572 +/- 0,6930, 0,2849 +/- 0,6

Gráfico de Cuantiles

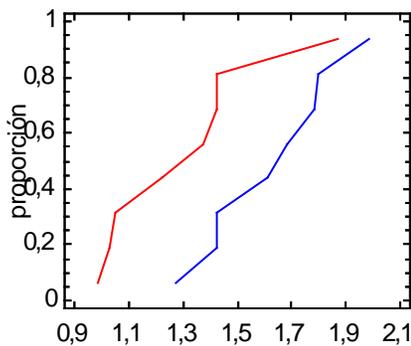
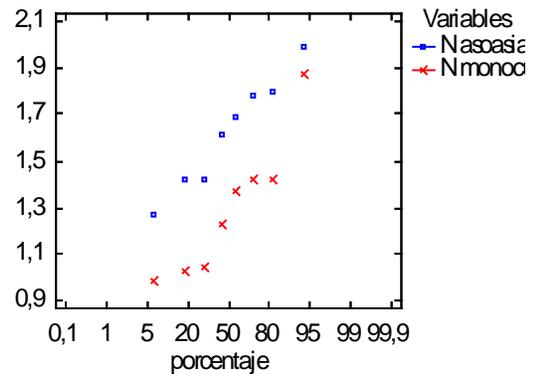


Gráfico de Probabilidad Normal





9. Análisis estadístico del fósforo obtenido en el grano de maíz

SnapStat: Comparación de Dos Muestras

	P asociacion	P monocultivo
Recuento	8	8
Promedio	3,04988	2,16975
Desviación Estándar	0,380936	0,195029
Coefficiente de Variación	12,4902%	8,98857%
Mínimo	2,533	1,789
Máximo	3,725	2,417
Rango	1,192	0,628
Sesgo Estandarizado	0,338994	-1,13676
Curtois Estandarizada	0,270322	0,69367

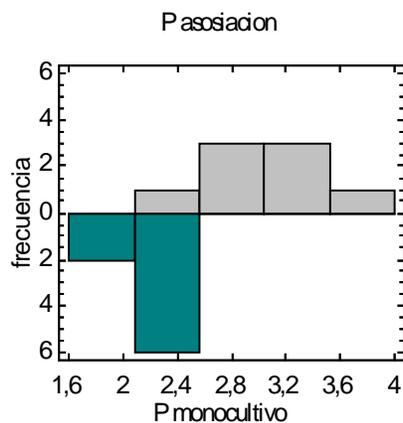
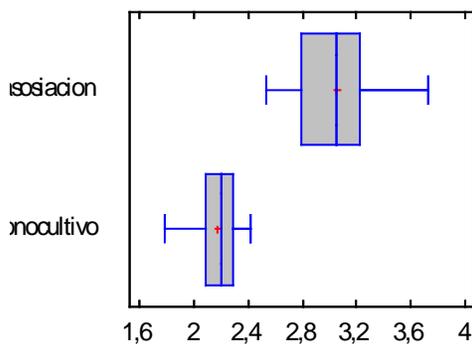


Gráfico Caja y Bigotes



Intervalos de confianza del 95%
 Dif. de medias 0,880125 +/- 0,32452 [0,555605; 1,20465]
 Razón de varianzas [0,763793; 19,056]

Comparación de Medias
 Hipótesis Nula: diferencia = 0
 estadístico t = 5,81685 Valor-P Bilateral = 0,0000

Comparación de Sigmas
 Hipótesis Nula: razón = 1
 Estadístico F = 3,81508 Valor-P Bilateral = 0,0982

Diagnósticos
 Valores-P Shapiro-Wilks = 0,6043 y 0,6267

Gráfico de Cuantiles

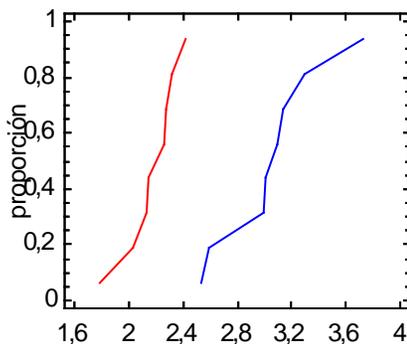
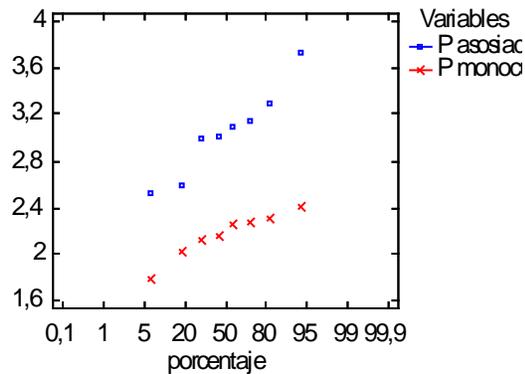


Gráfico de Probabilidad Normal





VIII. BIBLIOGRAFIA

Akhthar, M. 2004. Asociación lupinus silvestris-trigo y disponibilidad de fósforo en calcisoles. Tesis de doctorado, colegio de postgraduados. Montecillos. México. 6-20p

Altieri, M. 1990. Sistemas agroecológicos alternativas para la producción campesina. Primer encuentro agroecológico de América latina y el caribe. Cochabamba, Bolivia. Pp. 4-36.

Añez B. y. Tavira. 1990. Evaluación de las asociaciones vainita-maíz y vainita-zanahoria en los andes. Rev. Agric. Andina.59-75p.

Arias I.A. y Muñoz C.H. 1983. Evaluación de sistemas en monocultivo y asociación de maíz y leguminosas en el nor-oriente de Guárico. Agronomía tropical. 143 – 154p.

Arnon, I. 1972. Crop production in dry regions. Leonard hill. London.

Augstburger F. 1985. Cultivos asociados en climas templados y fríos de Bolivia. Turrialba. 34 -37p.

Baldy C. y Stigter C.J. 1993. Agrométéorologie des cultures multiples en régions chaudes. Inra editions. Paris. 45 – 49p.

Barrientos, L., Montenegro, B. y Pino A. 2001. Evaluación de la fijación simbiótica de nitrógeno de *lupinus albus* y *l. Angustifolius* en un andisol vilcun del sur de Chile. Terra 20: 39-44.

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

Cajuste, J.L. 1977. Química de suelos con un enfoque agrícola. Colegio de postgraduados. Chapingo. México.



CANAMI: cámara nacional del maíz industrializado. 2004. México. 43-45p.

Concha, T. L. 1992. Introducción y selección de tarwi (*lupinus mutabilis*) en el valle de México. Tesis de maestría en el colegio de postgraduados, montecillos. México.

Cooke, G. W. 1983. Fertilización para rendimientos máximos. Granada. Publishing limited. CECSA. 229-234p.

CORENA: comisión de recursos naturales. Secretaria del medio ambiente. 1999. Restauración y conservación del suelo de conservación y áreas naturales protegidas del D.F

Curtis, H. 2006. Invitación a la Biología. Buenos Aires; México. Medica Panamericana. 65-69p

Edje, O. T. 1979. Cropping systems for small farmers. Bunda college for ag.10: 10-33p.

Emeanson, K. C y M. I. Ezueh. 1997. The influence of companion crops in the control of insect pests of cowpea in intercropping systems. Trop. Agric. 74(4): 285-288.

Espinosa, V. 1997. Nutritional ecology of legume species with particular reference to phosphorus. Ph. D. Thesis, oxford, Inglaterra.

FAO: producción y protección vegetal 36. 1990. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, Italia.

Foth, H. D. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. Compañía editorial continental, S.A., México D.F. 433p.

Francis, C. 1978. Multiple cropping potentials of beans and maize. Hortscience. 12-16p.

Francis, C. 1981. Development of plant genotypes for multiple cropping systems. In: frey, K. (ed.).plant breeding ii. The lowa state university press. 131-179p.



Francis, C. 1986. Biological efficiencies in multiple - cropping systems. *Advances in agronomy*. 1-49p.

Gerke, J. W y Junk A. 1994. The excretion of citric and malic acid by proteoid roots of lupinus; effects on soil solution concentration of phosphate, iron, and aluminium in the proteoid rhizosphere in sample of an oxisol an a luvisol. *Zeitschrift*. 157-4: 289-294p.

Girardin P. 1991. De l'ovule au grain de maïs mature. En: *physiologie et production de maïs*. Communications au colloque la vie du maïs. Physiologie du maïs. D. Picard coordinateur. Inra, Paris. 187-200p.

Gómez A. y Gómez A. 1983. Multiple cropping in the humid tropics of Asia Ottawa, ont., international development research centre. 248 p.

Gross, R. 1982. El cultivo y la utilización del tarwi *lupinus mutabilis* sweet. *Estudio*. 212-214p.

Gutierrez, V., Infante M. y Pinchinot A. 1975. Situación del cultivo del frijol en América Latina. Centro internacional de agricultura tropical, Cali. Colombia.

Hiebsch, C. y Mccollum R. 1987. Area-x-time equivalency ratio: a method for evaluating the productivity of inter-crops. *Agronomy journal* 79, 15-22p.

INIFAP. Medio Ambiente, México 2001. Informe de la situación general en materia de equilibrio ecológico.

Jackson, M.L. 1964. Análisis químico de suelos. Ed. Omega. Barcelona. 1-7p

Jornada. 2004. Jornada de investigación y desarrollo. México. 4p



Loomis, S., Connor, J. 2002. Ecología de cultivos, productividad y manejo en sistemas agrarios. Publicado por mundi-prensa libros. 54-55p

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

Lucas, J.A. 1998. Estudio de la interacción planta-suelo-microorganismo y su aplicación en la mejora de la producción primaria de lupinus. Tesis de doctorado. Universidad san pablo. 6-9, 36 -41p.

Marin, D., Navas B. 1994. Comportamiento ecofisiológico de la asociación canavalia-maíz con y sin aplicación de nitrógeno y con diferentes arreglos cronológicos. Agronomía tropical 45 (4): 609-635p

Martínez, Á. 1990. Diseños experimentales métodos y elementos de teoría. Editorial trillas. México. 118-182p.

Mujica, A. 1992. Granos y leguminosas andinas. En: Hernández Bermejo. Colección FAO, producción y protección vegetal 26, córdoba. 129-146p

Mutsaers, H., Ezumah H. y Osiro D. 1993. Cassava-based intercropping: a review field crops research 34: 431-457p.

Ofori, F. y Stern W. 1987. Cereal - legume intercropping systems. Advances in agronomy. 41-90p.

Okano, S. 1989. Soil microbial biomass in sasatype grassland. Jpn. J. Grassland. Sci., 34: 280-285p.



Olsen, R. And L.A Dean. 1965. Methods of soil analysis. Ed black, part 2. Madison, Wisconsin. 1035-1049p.

Ortega, C. A. 1977. Contenido de proteínas en ciento sesenta muestras de semilla de la colección de "tarwi cusco". Tesis de licenciatura. Universidad nacional de san Antonio abad del Cusco. Cusco Perú. 35,36p

Pilbeam, C.J., Okalebo J.R. y Simmonds L.P. 1996. Analysis of maize-common bean intercrops in semi-arid kenya. Agricultural science, cambridge 123: 191-198p.

Quiroz, I y Marin, D. 2003. Rendimiento en granos y eficiencia de una asociación maíz (*zea mays*) y quinchoncho (*cajanus cajan*) con o sin fertilización. Bioagro 15(2): 121-128.

Ranilli, P. 1995. Improvement of pulse crops in Europe. *Eur. J. Agron.*4: 151-166 p

Reyes, H. A. 1982. Tlahuac, monografía. Comisión coordinadora para el desarrollo agropecuario del Distrito Federal. México. 56- 59p

Richards, L.A. 1990. Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Sexta edición. Departamento de agricultura de los estados unidos de América. Limusa. México. D. F. 135p

Rodas, C. A. 2000. Interaccion *lupinus mutabilis*- *zea mays* en la nutrición fosfatada en un andosol. Tesis de maestría. Colegio de postgraduados, montecillos. México. 15-17p.

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



Santa cecilia, F. y Vieira C. 1978. Associated cropping of beans and maize. I. Effects of beans cultivars with different growth habits. Turrialba. 19- 23p.

Shaxson, L. y Tauer L. 1992. Intercropping and diversity: an economic analysis of cropping pattern on smallholder farms in malawi. *Experimental agriculture*. 211-228p.

Thomas. R. 1994. Aplicación del conocimiento en el ciclo del nitrógeno en pasturas, in: *buxade investigación y desarrollo en sistemas de producción de forrajes tropicales, agronomía,*

Tisdale, S.L; Nelson, W.L. Y Beaton, J. D. 1985. *Soil fertility and fertilizers*. Fourth edition. Mcmillan publishing company. New york. 30p

Torres, J. A. y Martínez, D. 1993. Descripción de las gramíneas en plantaciones citricolas de martinez de la torre Veracruz. *Universidad Autónoma Chapingo*. 20-35p

Vandermeer J. 1992. *The ecology of intercropping*. Cambridge university press

Vandermeer J. 1982. *The ecology of intercropping*. Cambridge university press. 1-4, 15-19p.

Weier, E. 1983. *Botánica*. Universidad de California. Davis, California. Ed. Limusa. 655p.

Willey R.W. 1979. Intercropping. Its importance and research needs. Part 1. Competition and yield advantages. *Field crops abstracts* 32(2):73-85.