



CENTRO DE INVESTIGACIONES  
BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C.

---

Programa de Estudios de Posgrado

**EFFECTO DE SISTEMAS DE LABRANZA E INCORPORACIÓN  
DE ABONO VERDE (*Lablab purpureus* L.) Sweet, SOBRE LAS  
CARACTERISTICAS FISICAS, QUIMICAS Y BIOLOGICAS DE  
UN YERMOSOL HAPLICO EN ZONAS ARIDAS.**

**TESIS**

Que para obtener el grado de

**Doctor en Ciencias**

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales  
(Orientación en Ecología)

Presenta

**Félix Alfredo Beltrán Morales**

La Paz, B.C.S., Agosto de 2006

## ACTA DE LIBERACION DE TESIS

En la ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12 horas del día 26 de Junio de 2006, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

**EFECTO DE SISTEMAS DE LABRANZA E INCORPORACIÓN DE ABONO VERDE (*Lablab purpureus* L.) Sweet, SOBRE LAS CARACTERISTICAS FISICAS, QUIMICAS Y BIOLOGICAS DE UN YERMOSOL HAPLICO EN ZONAS ARIDAS.**

Presentada por el alumno:

Félix Alfredo Beltrán Morales

Aspirante al grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACION DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACION EN

### ECOLOGIA

---

Después de intercambiar opiniones de los miembros de la Comisión manifestaron su APROBACION DE LA TESIS, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

#### LA COMISION REVISORA

-----  
DR. RICARDO DAVID VALDEZ CEPEDA  
CO-TUTOR

-----  
DR. ENRIQUE TROYO DIEGUEZ  
CO-TUTOR

-----  
DR. JUAN LARRINAGA MAYORAL  
CO-TUTOR

-----  
DR. BERNARDO MURILLO AMADOR  
CO-TUTOR

-----  
DR. JOSE LUIS GARCIA HERNANDEZ  
DIRECTOR

-----  
DRA. THELMA ROSA CASTELLANOS CERVANTES  
DIRECTORA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**Esta tesis fue dirigida por:**

**Dr. José Luíz García Hernández**                      **Centro de Investigaciones Biológicas del  
Noroeste S.C.  
Programa de Agricultura de Zonas Áridas**

**El comité tutorial y el de revisión estuvo integrado por:**

**Dr. Enrique Troyo Dieguez**                      **Centro de Investigaciones Biológicas del  
Noroeste S.C.  
Programa de Agricultura de Zonas Áridas**

**Dr. Bernardo Murillo Amador**                      **Centro de Investigaciones Biológicas del  
Noroeste S.C  
Programa de Agricultura de Zonas Áridas**

**Dr. Juan Larrinaga Mayoral**                      **Centro de Investigaciones Biológicas del  
Noroeste S.C  
Programa de Agricultura de Zonas Áridas**

**Dr. Ricardo D. Valdez Cepeda**                      **Universidad Autónoma de Chapingo  
Centro Regional Universitario Centro-Norte**

**El jurado del examen de grado estuvo integrado por:**

**Dr. José Luíz García Hernández**                      **Centro de Investigaciones Biológicas del  
Noroeste S.C.  
Programa de Agricultura de Zonas Áridas**

**Dr. Enrique Troyo Dieguez**                      **Centro de Investigaciones Biológicas del  
Noroeste S.C.  
Programa de Agricultura de Zonas Áridas**

**Dr. Bernardo Murillo Amador**                      **Centro de Investigaciones Biológicas del  
Noroeste S.C  
Programa de Agricultura de Zonas Áridas**

**Dr. Juan Larrinaga Mayoral**                      **Centro de Investigaciones Biológicas del  
Noroeste S.C  
Programa de Agricultura de Zonas Áridas**

**Dr. Ricardo D. Valdez Cepeda**                      **Universidad Autónoma de Chapingo  
Centro Regional Universitario Centro-Norte**

**Suplente Dr. Narciso Ysaac Avila S.**                      **Universidad Autónoma de Baja California Sur.  
Área Interdisciplinaria de Cs. Agropecuarias**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo brindado a través del programa de becas (183028) y financiamiento otorgado para la realización de mis estudios doctorales.

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. por la oportunidad de formarme profesionalmente en esta prestigiada institución.

Al Programa de Mejoramiento de Profesores de la Secretaria de Educación Publica por su apoyo en la realización de mis estudios doctorales.

A la Universidad Autónoma de Baja California Sur por darme la oportunidad de desarrollarme como profesional en el ámbito de la investigación y la educación superior.

Al Dr. José Luís García Hernández por sus acertados consejos y sobre todo su capacidad de guiarme en este proceso, y a los miembros del comité tutorial Dr. Ricardo David Valdez Cepeda, Dr. Enrique Troyo Dieguez, Dr. Bernardo Murillo Amador y Dr. Juan Larrinaga Mayoral por su incondicional apoyo.

Al personal del Programa de Posgrado por la comprensión y el apoyo brindado durante mis estudios doctorales.

A todas aquellas personas a quienes no es posible mencionar, pero que de alguna manera han participado en mi desarrollo profesional y en la realización de este trabajo.

## CONTENIDO GENERAL

	<b>Página</b>
<b>CONTENIDO GENERAL</b>	<b>i</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>ii</b>
<b>INDICE DE GRAFICAS</b>	<b>iii</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vi</b>
1. INTRODUCCION	1
2. ANTECEDENTES	5
2.1. Los sistemas de labranza	6
2.1.1. Labranza Convencional	6
2.1.2. Erosión y labranza convencional	7
2.1.3. Piso de arado y labranza convencional	8
2.1.4. Compactación de suelo y labranza convencional	9
2.1.5. Labranza cero	9
2.1.6. Labranza mínima, reducida y óptima	10
2.1.7. Efecto de la labranza en las propiedades químicas del suelo	11
2.1.8. Efecto de la labranza en la materia orgánica	14
2.1.9. Efecto de la labranza en la disponibilidad de nitrógeno	14
2.1.10. Efecto de la labranza en la disponibilidad de fósforo y potasio	17
2.2. Efecto de la labranza en los microorganismos del suelo	18
2.3 Los abonos verdes	21
2.3.1. Funciones del abono verde	22
2.3.2. Características deseables de los abonos verdes	23
2.3.3. Abono verde intercalado con los cultivos	26
2.3.4. Manejo del abono verde	26
2.3.5. Manejo de la fitomasa	28
2.4. Efecto de los abonos verdes en las propiedades del suelo	32
2.4.1. Efecto en las propiedades físicas del suelo	32
2.4.2. Efecto en las propiedades químicas del suelo	36
2.4.3. Efecto en las propiedades biológicas del suelo	38
2.5. Efecto de los abonos verdes en el rendimiento de los cultivos	40
2.6. El frijol dolichos	41
2.6.1. Descripción de la planta	44
2.6.2. Características agronómicas	45
2.6.3. Producción de forraje	46
2.6.4. Plagas y enfermedades	46
2.6.5. Uso agrícola	47
2.6.6. Contenido nutrimental y bromatológico	49
2.7. El cultivo de la albahaca orgánica	50
2.7.1. Fertilidad de suelos en la producción orgánica	52
3. JUSTIFICACIÓN	56
4. HIPÓTESIS	62
5. OBJETIVOS	63

6. MATERIALES Y MÉTODOS	64
6.1. Variables físicas y químicas del suelo	67
6.2. Variables biológicas del suelo	68
6.3. Compactación del suelo	68
6.4. Composición nutrimental y bromatológica del frijol dolichos	69
6.4.1. Composición nutrimental	69
6.4.2. Composición bromatológica	70
6.5. Composición nutrimental de albahaca (cultivo indicador)	70
6.6. Análisis económico	70
6.7. Análisis estadístico	71
7. RESULTADOS Y DISCUSION	74
7.1. Variables físicas y químicas del suelo	74
7.2. Variables biológicas del suelo	79
7.3. Compactación del suelo	86
7.4. Composición nutrimental de frijol dolichos	92
7.5. Composición nutrimental de la albahaca (cultivo indicador)	94
7.6. Composición bromatóloga de frijol dolichos	99
8. Análisis económico	102
9. CONCLUSIONES	104
10. LITERATURA REVISADA	107
Anexo A	124
Anexo B	125
Anexo C	126

## INDICE DE FIGURAS

NUM	FIGURA	Página
1	Aspecto general del frijol dolichos.	42
2	Esquema de <i>Lablab purpureus</i> .	44
3	Incorporación de frijol dolichos con rastra de discos.	49
4	Vista general del experimento de campo.	65
5	Localización de los tratamientos de campo.	66
6	Preparación mecánica del suelo.	67
7	Análisis de correlación canónica ACC para niveles de labranza e incorporación de abono verde.	78
8	Análisis de correlación canónica ACC para niveles de mineralización de C en kg día <sup>-1</sup> sistemas de labranza e incorporación de abono verde.	85
9	Componentes principales del efecto de tres sistemas de labranza e incorporación de abono verde en la compactación a tres profundidades de suelo.	91
10	Componentes principales del contenido nutrimental del frijol dolichos y su relación con el efecto de tres sistemas de labranza.	93
11	Componentes principales del contenido nutrimental de albahaca y su relación con el efecto de tres sistemas de labranza.	98
12	Representación grafica de la composición bromatológica de frijol dolichos mediante el análisis de componentes principales.	101

**INDICE DE TABLAS**

<b>NUM</b>	<b>TABLA</b>	<b>Página</b>
<b>1</b>	Cuadrados medios de los análisis de varianza (ANOVA) de sistemas de labranza e incorporación de frijol dolichos como abono verde, establecidos en bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas.	75
<b>2</b>	Comparación para las variables MO, pH, nutrientes y DA con respecto a cinco fechas de muestreo en un experimento de sistemas de labranza e incorporación de frijol dolichos como abono verde.	76
<b>3</b>	Cuadrados medios de los análisis seriados de experimentos (ANOVA) de experimentos establecidos en bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas.	83
<b>4</b>	Comparación de medias para las variables en estudio con respecto a las fechas de muestreo e incorporación de abono verde.	84
<b>5</b>	Resultados promedio de compactación del suelo (MPa) en la primera fecha de muestreo.	86
<b>6</b>	Resultados promedio de compactación del suelo (MPa) en la segunda fecha de muestreo.	87
<b>7</b>	Cuadrados medios de los análisis de varianza (ANOVA) de experimentos establecidos en bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas.	90
<b>8</b>	Aportación de nutrientes en kg ha <sup>-1</sup>	92
<b>9</b>	Comparación de valores promedio porcentuales para las Variables en estudio con respecto al contenido nutrimental.	97
<b>10</b>	Concentrado de datos del análisis económico de la producción mediante tres sistemas de labranza e incorporación de frijol dolichos como abono verde en condiciones de aridez.	103



## RESUMEN

La adopción de sistemas de labranza reducida y la utilización de abonos verdes en las áreas de riego en México ha sido limitada, a pesar de los múltiples reportes existentes sobre los beneficios de realizar tales prácticas. En esta investigación se evaluó el efecto de tres sistemas de labranza y la incorporación de frijol dolichos (*Lablab purpureus* L.) como abono verde en la recuperación de las variables de fertilidad del suelo. Asimismo se evaluaron la compactación del suelo, el contenido nutrimental y bromatológico del frijol dolichos, el contenido nutrimental de la albahaca como cultivo indicador y finalmente se realizó un análisis económico de los sistemas de labranza con respecto a la incorporación de abono verde. La MO en el suelo mostró una recuperación significativa después de la incorporación del abono verde, con un incremento de 0.21%. El suelo con tratamientos de abono verde incrementó su contenido de nutrientes y su fertilidad, mostrando incrementos de 0.11 mg P kg<sup>-1</sup>, 0.01% de N y en 30.814 mg de K kg<sup>-1</sup>. La incorporación de frijol dolichos como abono verde en dosis de 13 t de materia seca implica un aporte de 366 kg N ha<sup>-1</sup> al suelo. Se confirmó que el análisis de correlación canónica conjuntamente con el análisis de componentes principales es una herramienta apropiada para discernir los efectos significativos en estudios de alta heterogeneidad. El análisis económico reflejó una Tasa Interna de Retorno de 75.14% en el sistema de labranza reducida o mínima con incorporación de abono verde, en comparación con una TIR de 17.61% en el sistema de labranza convencional sin incorporación de abono verde. La respiración microbiana del suelo, basada en la producción de CO<sub>2</sub> fue superior en un 36% después de la incorporación del abono verde, con respecto al primer muestreo. En ese sentido, es evidente la potencialidad del frijol dolichos como promotor de la actividad microbiana en sistemas conservacionistas en suelos de zonas áridas.

En un sistema de agricultura de bajos insumos es posible utilizar los abonos verdes como una vía económicamente viable para sustituir las necesidades parciales o totales de los fertilizantes minerales nitrogenados en cultivos orgánicos.

*Palabras clave: sistemas de labranza, abono verde, fertilidad de suelos, compactación de suelo, análisis nutrimental, análisis económico.*

## ABSTRACT

Adoption of reduced tillage fallow systems and green manure incorporation in the irrigation zones of Mexico has been limited, in spite of the several reports that describe the benefits from those practices. We evaluate the effect of three tillage systems and dolichos (*Lablab purpureus* L.) green manure incorporation on the fertility soil recuperation. Also we evaluated soil compaction, nutrimental and bromatological content of dolichos bean, nutrimental content of basil as indicating crop and finally we made an economic analysis of tillage systems and green manure incorporation. MO showed a significant recovery after incorporating green manure, with an increase of 0.21%. The soil with green manure increase nutriment content and fertility, showing increases of 0.11 mg P kg<sup>-1</sup>, 0.01% of N and 30.814 mg of K kg<sup>-1</sup>. Dolichos bean green manure production was 13 dry matter tons that implies 366 kg N ha<sup>-1</sup> at soil. It was confirmed that canonical and principal components analyses were appropriated tool to discern the significant effects in studies of high heterogeneity. The economic analysis reflected an Internal Rate of Return of 75.14% in reduced or minimum tillage with green manure incorporation in comparison with a TIR of 17.61% in conventional tillage without green manure incorporation. The soil microbial respiration based in CO<sub>2</sub> production was higher in 36% after green manure incorporation with respect to the first sampling. In that sense, the potentiality of dolichos bean like promoter of microbial activity in arid zone soils is evident.

In low input agriculture system it is possible use green manures like an economically viable route to replace partial or total necessities of nitrogen mineral fertilizers in organic agriculture.

***Index words:*** *tillage systems, green manure, soil fertility, soil compaction, nutrimental analysis, economical analysis.*

## **1. Introducción**

La visión de que el suelo es un simple productor de plantas, fuente de minerales y de alimentos para los seres vivos, se ha modificado en los años recientes, ya que actualmente se conoce el papel primordial que cumple en los ecosistemas. El suelo funge como medio de vida de millones de organismos que cumplen papeles determinantes en los ecosistemas y que son potencialmente útiles al hombre, además de que sirve como medio físico sobre el cual se asienta la infraestructura del desarrollo humano (Altieri, 1999).

La conservación de los suelos depende, en primer término, de que sean utilizados de acuerdo con sus aptitudes naturales, y segundo, de que su manejo sea técnicamente adecuado. De otra manera, se corre el riesgo de generar efectos físicos, químicos y biológicos que traen como consecuencia la pérdida de la fertilidad del suelo, debida entre otros factores a los deterioros estructurales, la pérdida de humus y materia orgánica en general, así como el agotamiento de sustancias que lo hacen productivo, tanto biológicas como químicas, en la que los principales componentes son el nitrógeno, el fósforo y el potasio (INEGI, 2002).

La erosión es una de las principales causas de la desertificación y constituye uno de los problemas más severos de los recursos renovables de México. Los diversos procesos que propician la degradación del suelo afectan en distinto grado un 95% del territorio nacional (Ortiz *et al.*, 1994). En tales procesos sobresalen los de erosión eólica e hídrica que afectan 85% y 60% respectivamente de la superficie del país, así como el proceso de degradación biológica (aumento de la mineralización de la

materia orgánica del suelo, debido entre otros factores, a la remoción del manto vegetal y al cultivo excesivo), el cual afecta 80% del territorio nacional (Ortiz *et al.*, 1994). De acuerdo con la información contenida en el mapa de suelos de la República Mexicana (INEGI, 2002) el 70% de los suelos de México presentan en promedio menos de 1% de materia orgánica.

En las últimas décadas, el uso de abonos orgánicos ha cobrado cada vez más importancia por diversas razones (Agostini *et al.*, 2003, Blackshaw *et al.*, 2001). Desde el punto de vista ecológico, se ha incrementado la preocupación por fomentar las prácticas agrícolas que armonicen con el cuidado del ambiente. El uso de abonos orgánicos mejora las condiciones de suelos que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos y su sobre-explotación (Altieri, 1999). Las consecuencias directas de estos dos últimos eventos son la pérdida de la materia orgánica, disminución de la fertilidad y la contaminación de los suelos, cuya producción agrícola puede también estar contaminada, ya sea de manera química o microbiológica. Las consecuencias indirectas se reflejan en la afectación de la flora y fauna del ambiente aledaño al suelo afectado (Altieri, 1999).

El uso de abono verde contribuye a la recuperación de la fertilidad del suelo (Bučienė *et al.*, 2003) puede mejorar sus propiedades físicas (Agostini *et al.*, 2003) y controlar plagas (Aloyokhin y Atlihan, 2005), malezas (Blackshaw *et al.*, 2001) y nemátodos (Guerena, 2006); pero sobre todo incrementa el contenido de materia orgánica, que a su vez modifica la capacidad de intercambio catiónico y la disponibilidad de macro y micronutrientes. Otros efectos indirectos son; la formación y estabilización de agregados, el mejoramiento de la infiltración de agua y la aeración (García-

Hernández, 2000), así como la disminución diurna en la amplitud de la variación térmica.

En el caso de utilización de leguminosas como abono verde, se destaca la incorporación de nitrógeno al suelo, efectuado a través de la fijación biológica (Kristensen, 2006; Mehari *et al.*, 2005).

Numerosos estudios se han realizado sobre la contribución de los cultivos de cobertura y abonos verdes al contenido de nitrógeno del suelo sobre los valores como substitutos del fertilizante nitrogenado proveniente de los residuos de cultivos y la influencia del manejo de los residuos sobre los cultivos subsiguientes (Onim *et al.*, 1990; John *et al.*, 1992; Smyth *et al.*, 1991). En otros estudios se han investigado la absorción de los demás nutrimentos principales, sus equivalentes en fertilizantes (Sharma y Sharma, 1990) y su presencia en los cortes de forraje subsiguientes (Shatilov y Dobrovol'skaya, 1991). Los incrementos del rendimiento asociados con el uso de cultivos de cobertura se han relacionado directamente con el contenido de N de la cobertura y la materia seca total producida (Amado y Wildner, 1991).

En el caso del frijol dolichos (*Lablab purpureus*), además de su potencial como fuente nutrimental en la alimentación del ganado, ofrece otras ventajas importantes cuando se utiliza en sistemas agrícolas. Por ser una leguminosa, esta planta proporciona la fijación biológica del nitrógeno (N). La acción natural de convertir N atmosférico en las formas disponibles para la planta, mejora la productividad de una manera barata y ambientalmente sustentable.

El nivel de fijación de N está en relación con la eficacia en la formación de nódulos, lo cual depende del índice de crecimiento de la legumbre y de las condiciones del

suelo; generalmente de 15 a 40 kilogramos de N son fijados para cada 1000 kilogramos de materia seca (Humphreys, 1995). Este "fertilizante natural" permite a los agricultores mejorar el suelo y su productividad (Bučienė *et al.*, 2003; Thönnissen *et al.*, 2000b).

Con su raíz profunda, el frijol dolichos no es solamente tolerante a la sequía, además puede poner a disposición de la planta los nutrientes que requiere para su desarrollo. Dicha raíz profunda, así como la cubierta protectora sirven para estabilizar el suelo y evitar o disminuir la erosión. Cuando está sembrado en huertas o plantaciones asociado con otros cultivos, el dolichos no solamente protege al suelo si no que también realiza un control natural de la maleza sin ningún efecto perjudicial sobre los arbustos o los árboles frutales (Cameron, 1988).

El dolichos es tolerante a la sequía, al respecto ya se han tenido experiencias en regiones áridas y semiáridas con precipitaciones de 200 milímetros anuales en promedio. El frijol dolichos se puede desarrollar con 10 mm de agua de riego durante la germinación y el establecimiento y cuando ya está establecido es extremadamente tolerante a la sequía (Cameron, 1988).

Por lo anterior, en la presente investigación se propuso determinar la mejor interacción labranza-incorporación de abono verde de frijol dolichos para incrementar o mejorar de la fertilidad química y biológica de un suelo arenoso típico de zonas áridas.



## 2. Antecedentes

Se estima que cada año entre 6 y 7 millones de ha de tierras agrícolas se tornan improductivas debido a la erosión, la cual junto con la contaminación atmosférica, la salinización y la alcalinización reducen la productividad de 1.5 millones de ha, adicionales cada año (Altieri, 1999). La degradación de tierras está muy difundida en las regiones áridas del mundo, afectando a 5.5 millones de ha, lo que representa cerca del 70% de la superficie de estas tierras, provocando una pérdida de producción anual estimada en 42,000 millones de dólares. Casi un millón de ha, de las cuales la mayor parte se encuentra en las mejores tierras agrícolas de riego, se sacrifican cada año en favor de la urbanización (Altieri, 1999).

En años recientes, en diferentes países se ha incrementado entre diferentes gremios y actores relacionados con el sector productivo (productores, investigadores, agencias de gobierno y de conservación ambiental), el interés por la investigación y adopción de prácticas alternativas de producción de cultivos con un enfoque más orgánico y agroecológico con la finalidad de reducir la contaminación y la erosión o pérdida de los recursos, principalmente suelo y agua (Gliessman, 1998; Colla *et al.*, 2000; García-Hernández, 2005). El pastoreo insostenible es uno de los problemas más difíciles que enfrentan los países de zonas áridas. Sólo podrá ponerse control o término a la degradación de tierras de pastoreo cuando se ajusten los tamaños de los hatos de ganado a la capacidad de carga de dichas tierras. Sin embargo, prevalece una notoria resistencia a reducir de los rebaños a un tamaño que el área sea capaz de soportar. Sin embargo, ya no existen las condiciones sociales y ambientales que

permitían efectuar la mayor parte de las actividades de pastoreo tradicionales de manera sostenible; al mismo tiempo se reconoce que la sustentabilidad exige la reforma de esos sistemas (Altieri, 1999).

Las investigaciones que se están realizando en este sentido están enfocadas hacia prácticas en las que se promueve la conservación, formación restauración y mejoramiento del suelo, induciendo propiedades químicas y físicas favorables para la producción de cultivos sin menoscabo de los recursos (Colla *et al.*, 2000; Munawar *et al.*, 1990).

## **2.1. Los sistemas de labranza**

Labranza es toda manipulación física, química y biológica del suelo, la cual comúnmente se realiza con el objetivo de optimizar la germinación, la emergencia, establecimiento, desarrollo y producción de las plantas. Para entender la agricultura de conservación es sumamente importante aprender a diferenciar entre los tipos de labranza que existen (Moreno, 1994).

### **2.1.1. Labranza convencional**

Se refiere a las operaciones de labranza primaria y secundaria adoptadas en una región agrícola convencional o moderna. Actualmente entendemos por sistema de producción convencional a todo aquel que se rige por los métodos establecidos con la revolución verde, la cual, además del abundante uso de agroquímicos y de variedades mejoradas, obliga al uso frecuente de maquinaria para las diferentes etapas de

producción. La agricultura que se desarrolla bajo estos principios tiende a la simplificación del ecosistema, y dependiendo de los recursos disponibles para el agricultor es intensa y eficiente solo desde el punto de vista económico (Sandia *et al.*, 1999).

Desafortunadamente, la agricultura moderna altera los suelos por la adición o remoción de nutrientes, adición de cal, remoción de rocas para facilitar operaciones agrícolas modificando intensivamente la estructura del suelo y el paisaje (Bifani, 1999). El movimiento del suelo en los sistemas convencionales es enorme y esto provoca que las características naturales de un suelo como el contenido de materia orgánica y su estructura del suelo se modifiquen creando un microambiente no propicio para el mantenimiento y desarrollo de la micro y macrofauna natural del suelo, tales organismos son los encargados de abastecer al suelo con los diferentes elementos nutritivos mediante la descomposición de la materia orgánica. Además, la escarda o deshierbe con métodos mecánicos provoca que el suelo entre las hileras de plantas reciba mayor radiación directa y se pierda demasiada humedad por evaporación, manteniendo a las plantas en mayor estrés hídrico.

### **2.1.2. Erosión y labranza convencional**

A pesar de que la erosión es un fenómeno que se presenta en forma natural en diferentes grados, esta se acelera con el uso de la maquinaria de la agricultura moderna o industrial. La pérdida de suelo por erosión tanto hídrica como eólica es el problema más grave que se presenta con el uso convencional de la maquinaria, sobre todo el uso del arado y la rastra (Moreno, 1994).

La utilización de estos implementos provocan que la superficie del suelo permanezca expuesta, pierda la estructura natural, se deflocule y sea polvoso, de manera que este nivel del perfil sea propenso a perderse por los medios mencionados.

Cada año se pierden millones de toneladas de suelo por erosión en sistemas convencionales (Galvis, 1993). Además, se pierde la materia orgánica de los residuos de cosecha que tiende a acumularse precisamente en la primera capa del suelo, lo que resulta en la pérdida de la estructura, la porosidad y por ende, de la capacidad de retención de humedad, la capacidad de aireación y drenaje del suelo, acentuándose en consecuencia los problemas en fertilidad para los cultivos.

Más del 60 % de nuestro territorio sufre de un moderado a severo grado de desertificación por efectos de la erosión. De acuerdo con datos de la Comisión Nacional del Agua (2005), en México se pierden anualmente 530 millones de toneladas de suelo, equivalentes a más de 50 millones de camiones de volteo. A partir de resultados de investigaciones que indican que la pérdida de suelo por ciclo agrícola llega a ser de 27 kg de suelo por cada kg de maíz de grano cosechado en la región de los Tuxtlas en Veracruz, con sistemas tradicionales de producción.

### **2.1.3. Piso de arado y labranza convencional**

El piso de arado se refiere a la capa dura que se forma en la base tanto de la rastra como del arado esta capa que se endurece más con cada paso del implemento retarda o impide la infiltración del agua y el crecimiento de las raíces, lo que a su vez ocasiona que las mismas ya no puedan obtener los compuestos y elementos

nutrimentales que se encuentran en las capas de suelo profundas o intermedias ubicadas debajo de dicha esa capa (García-Hernández *et al.*, 2000).

#### **2.1.4. Compactación de suelo y labranza convencional**

Los implementos de labranza, el peso de los tractores y el pisoteo de los animales aceleran la compactación del suelo y llegan a producir serios problemas en el desarrollo radicular de los cultivos y menor desarrollo de la planta, lo que disminuye la producción. La compactación restringe la infiltración, erosión, pérdida de nutrientes y el potencial de la calidad del agua, así mismo puede reducir el ciclo de nutrientes resultando una disminución en las cosechas (USDA, 2003).

Mora-Gutiérrez *et al.* (2001) confirman que la mayor resistencia se presenta en la capa superficial, pues a partir de 30 cm de profundidad, con la labranza convencional se obtuvieron valores mayores que con la labranza cero. Los valores de mayor resistencia a 30 cm de profundidad podrían indicar que la capa denominada “piso de arado” se detecta más claramente en labranza convencional, pues al no haber paso de arado, en labranza cero esta capa tiende a desaparecer y en consecuencia empieza a disminuir su resistencia a la penetración debido, entre otros factores, al reacomodo de los agregados del suelo, a la continuidad porosa que se establece y al incremento de la actividad biológica del suelo.

#### **2.1.5. Labranza cero**

Como labranza cero se designa al sistema de producción donde se eliminan todas las labores mecánicas tanto de cultivo como de preparación para siembra, a excepción

únicamente de la siembra, aunque en algunas ocasiones incluso ésta se realiza a mano. Generalmente cuando se siembra mecánicamente se realiza con sembradoras de precisión; de manera similar al sistema de labranza mínima y labranza de conservación, la fertilización se realiza junto con la siembra, con el mismo implemento o se aplica en el agua de riego, cuando el mismo se realiza por métodos presurizados como los sistemas de riego por goteo o aspersión.

#### **2.1.6. Labranza mínima, reducida y óptima**

Labranza mínima designa a los sistemas de producción donde prácticamente se suprimen todos los movimientos de suelo con maquinaria no indispensables la supresión de una o mas labores es decidida según el criterio del productor. Entre las labores que se suprimen está la preparación de suelo con pasos de rastra y el control mecánico de malezas, aunque se realizan movimientos mecánicos de suelo cuando se considera necesario realizarlo. Generalmente en el sistema de labranza mínima o reducida se incorporan por medio mecánico los residuos de cada cosecha. Un tipo de labranza en la que el único laboreo se realiza para la incorporación de abono verde se conoce como “labranza óptima” (Beltrán-Morales *et al.*, 2005).

Los términos que describen los conceptos anteriores tienen una estrecha relación entre sí y se catalogan de forma subjetiva, es decir, se pueden aplicar a circunstancias variables, en tanto que no se trata precisamente de un procedimiento a manera de receta tecnológica sino que representa más bien una filosofía en la que las herramientas como la maquinaria e insumos agrícolas se utilizan en la menor cantidad

posible, pero a la vez en forma racional tratando de no afectar los rendimientos, a la vez que se conservan o mejoran los recursos fundamentales agua y suelo.

Se han publicado reportes (Young III y Youngberg, 1996) que indican que el uso de estos sistemas de producción en diferentes cultivos, principalmente cereales como maíz, trigo, cebada, pastos, leguminosas como el frijol, trébol, soya y otras especies, resulta en una notable disminución de costos y sobre todo en la producción de rendimientos comparables a los sistemas convencionales de altas inversiones. Además, utilizar leguminosas en rotación de cultivos provee al cultivo subsecuente de un aporte de nitrógeno valioso (Young III y Youngberg, 1996).

La labranza remueve el suelo cercano al implemento reduciendo notablemente la densidad aparente e incrementando la porosidad, resultando en mayores tasas de infiltración y aireación (García-Hernández *et al.*, 2000)

#### **2.1.7. Efecto de la labranza en las propiedades químicas del suelo**

Se pueden dividir a los nutrimentos del suelo en dos grandes grupos dependiendo de su uso por la planta: macro y micronutrimentos. Los macronutrimentos son aquellos que la planta usa en grandes proporciones e incluyen el hidrógeno, carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Los micronutrimentos solo son utilizados en cantidades pequeñas por la planta e incluye varios elementos químicos, entre ellos el hierro, cobre, molibdeno y zinc. El crecimiento y desarrollo de una planta depende en una medida importante del balance correcto de estos nutrimentos (García-Hernández *et al.*, 2005). Limitaciones al crecimiento de las plantas pueden ocurrir si alguno de los nutrimentos individuales no están presentes en el suelo o

están presentes en cantidades muy reducidas, o incluso en exceso.

Los nutrientes de las plantas ocurren de tres formas principales en el suelo: (1) como iones retenidos dentro de las partículas minerales, (2) como iones adsorbidos en la superficie de los coloides y (3) como iones disueltos en la solución del agua en el suelo. Durante el intemperismo de los minerales del suelo hay liberación de iones y formación de partículas pequeñas (coloides) que tienen cargas eléctricas en su superficie. En estas partículas se forma una nube de iones alrededor de las mismas, aquellos iones con carga positiva (cationes), como el calcio, magnesio y potasio son atraídos por las cargas negativas de los coloides, en tanto que los iones con carga negativa (aniones) que incluyen a los fosfatos, los cloruros y los sulfatos, son atraídos por las cargas positivas de los coloides (Sumner, 2000).

De los tres tipos de retención de los nutrientes mencionados, aquellos en solución son los más fácilmente disponibles para las plantas. Las arcillas tienen una importancia especial en el estado nutricional del suelo. Las arcillas del tipo caolinítico tienen una carga superficial muy pequeña y solo absorben una cantidad limitada de nutrientes. Arcillas del tipo de la montmorillonita tienen un gran número de cargas superficiales significativo y pueden retener variados nutrientes en su superficie. Existe un tercer tipo de arcillas que son una mezcla de los dos anteriores y que se denominan arcillas interstratificadas, las cuales incluyen a la muscovita y a la illita (Sumner, 2000). La disponibilidad de un nutriente en un suelo depende no solo de su naturaleza física y química, sino también de la capacidad de la planta para tomarlo a través de su sistema radical. Los nutrientes móviles son relativamente solubles y débilmente adsorbidos por la arcilla o la materia orgánica.



Esta movilidad implica que el flujo del nutrimento ocurre en la dirección neta del movimiento del agua en el suelo. En esta categoría, la forma nítrica del N y el S como sulfato, responden como nutrimentos móviles en el suelo (Silva-Acuña *et al.*, 2005).

Dentro de los nutrimentos inmóviles se consideran a las formas adsorbidas o fijadas del fósforo, el potasio, el calcio, el magnesio intercambiable y el amonio, aunque éste último solo temporalmente debido a su oxidación biológica (transformación) a nitrato. Los nutrimentos más inmóviles son aquellos que reaccionan en el suelo para formar productos cuya solubilidad es menor que la del material fertilizante (Sumner, 2000).

La zonas de adsorción radicular del suelo están entonces divididas por dichos extremos de movilidad de los nutrimentos. En primer término se encuentra la zona del suelo que contiene la mayor parte del sistema radicular y que se denomina zona de adsorción del sistema radicular, en esta zona las raíces toman los nutrimentos móviles.

La segunda zona de adsorción incluye el volumen de suelo adyacente a cada raíz, conocido como rizosfera en el cual, el sistema radical obtiene los nutrimentos relativamente inmóviles. Este volumen se denomina zona de adsorción de la superficie radicular (Sumner, 2000).

### **2.1.8. Efecto de los sistemas de labranza en la materia orgánica**

La labranza puede servir de eje transformador del funcionamiento del agroecosistema al influir en la formación y estabilidad de los agregados del suelo y en el mantenimiento de la materia orgánica (Six *et al.*, 2000).

Los cambios en las propiedades físicas del suelo por el tipo de labranza no pueden desligarse de los cambios producidos en el contenido de la materia orgánica y de sus fracciones de más fácil descomposición como la biomasa microbiana, la fracción ligera constituida por material orgánico muy fragmentado y la materia orgánica particulada físicamente protegida en los agregados del suelo (Hernández, 1998; Six *et al.*, 2000). Todas estas fracciones pueden usarse como indicadores bioquímicos y microbiológicos de calidad del suelo.

Los sistemas de labranza pueden influir sustancialmente en la cantidad y calidad de la materia orgánica del suelo. En prácticas bajo labranza de conservación se reflejan mayores contenidos fraccionarios de materia orgánica y actividad microbiana, en los suelos con mayor contenido de materia orgánica, existe una mayor actividad biológica, medida como un incremento en el número de microorganismos de diversos grupos ecológicos (Ding *et al.*, 2002).

### **2.1.9. Efecto de los sistemas de labranza en la disponibilidad de nitrógeno**

Los sistemas de labranza de conservación tienden a inmovilizar el nitrógeno; al ser comparada con los sistemas de labranza convencional, la mineralización del nitrógeno es prácticamente igual en todos los sistemas de labranza, pero el tiempo de

permanencia del nitrógeno en el suelo es mayor al incorporar residuos orgánicos o dejarlos sobre la superficie del suelo (Sumner, 2000).

Estas diferencias en las respuestas de los experimentos sobre labranza de conservación pueden explicarse al tomar en cuenta los procesos del nitrógeno en el suelo. Las transformaciones básicas de nitrógeno en el suelo incluyen la mineralización, la cual incluye la transformación de compuestos orgánicos en compuestos inorgánicos (El Titi, 2003).

Los nutrimentos pueden ser extraídos de la materia orgánica del suelo, el humus, de los residuos de cosecha o de fertilizantes orgánicos, los cuales no solamente contienen nitrógeno, si no también fósforo y potasio. La mineralización de nutrimentos es promovida por los microorganismos del suelo, los cuales utilizan el carbón mineral como fuente de energía para mineralizar nutrientes (El Titi, 2003).

Debido al incremento en el perfil del suelo de la MO bajo no labranza se tiene un potencial de inmovilización del nitrógeno mayor en este sistema. Como consecuencia de la estratificación de la materia orgánica la inmovilización del nitrógeno ocurre principalmente en la superficie del suelo y coincide con la mayor actividad microbiana reportada en la superficie de los suelos bajo no labranza (Doran, *et al.*, 1998).

Cuando los materiales orgánicos son incorporados en el suelo, el contacto de las partículas del suelo con los residuos incrementa adicionalmente la temperatura y la humedad del suelo asimismo la profundidad de del suelo a la que han sido depositados los residuos favorece la mineralización y descomposición de los residuos

(El Titi, 2003). El efecto de la labranza en la mineralización de nutrimentos es más afectada por el tiempo de labranza, por lo cual debido a las condiciones ambientales que prevalecen durante y después de la operación de labranza, la mineralización de nutrimentos disminuye en épocas frías comparada con períodos calientes (El Titi, 2003).

La disminución en la disponibilidad del N en la no-labranza se asocia a la descomposición más lenta de los residuos acumulados en la superficie que ocurre bajo este sistema en comparación con la labranza convencional. Con el transcurso de los años bajo el sistema de labranza de conservación se logra un nuevo equilibrio en las relaciones de mineralización en relación con la inmovilización del nitrógeno en el suelo, que iguala la disponibilidad del nitrógeno bajo labranza de conservación con aquella observada en sistemas de labranza convencional (Rice *et al.*, 1996). Lo anterior evita la necesidad de seguir la recomendación de aplicar mayores cantidades de fertilizante nitrogenado bajo labranza cero debido a la baja mineralización de los residuos vegetales.

Otro aspecto del ciclo del N en el suelo que se ve afectado por el cambio del sistema de labranza es la nitrificación. Debido a los cambios en la ecología microbiana existe un incremento en la actividad microbológica como respuesta a las acumulaciones de residuos orgánicos. Doran *et al.* (1998) observaron un incremento en los microorganismos aeróbicos, heterótrofos facultativos, desnitrificadores, y nitrificadores autótrofos. Dado que en la labranza de conservación existe una humedad más abundante en la superficie, hay mas posibilidades de que se sature el espacio poroso y en consecuencia de que se excluya el oxígeno creándose

condiciones favorables para la descomposición anaeróbica de las bacterias desnitrificadoras. Se han reportado incrementos substanciales de organismos desnitrificadores en el sistema de labranza de conservación y mayores pérdidas de nitrógeno gaseoso por desnitrificación (Doran *et al.*, 1998). Esta pérdida es importante en suelos mal drenados en donde se tenga una mayor acumulación de agua y un alto contenido de MO.

Existe el peligro de un mayor movimiento de nitratos en el suelo por lixiviación bajo la no-labranza, debido a la presencia de poros continuos en el perfil del suelo y a la poca evaporación del agua de la superficie. Las pérdidas de nitrógeno en los sistemas de labranza aumentan al incrementarse las entradas de dicho elemento al sistema, el uso subsecuente de abonos orgánicos también puede causar problemas de contaminación por nitratos, aunque a largo plazo su repercusión aun es incierta (Wivstad *et al.*, 2005).

#### **2.1.10. Efecto de la labranza en la disponibilidad del fósforo y potasio**

La concentración del potasio en el suelo depende principalmente de la textura y de la mineralogía del suelo; los suelos arcillosos contienen mayores cantidades de potasio aunque para asegurar esto, debemos de tomar en cuenta las condiciones ambientales y la mineralogía de las partículas del suelo (Wivstad *et al.*, 2005).

El Titi (2003) menciona que con respecto a los valores de P, Ca, Mg y Na, no se encontraron diferencias entre tratamientos para dos profundidades de suelo muestreadas, ya que el P y K son redistribuidos, concentrándose en la capa superficial de los suelos bajo siembra directa y también con labranzas con remoción, sin

observarse efectos negativos de este fenómeno sobre la productividad de los cultivos. Sólo los contenidos de K del suelo mostraron una alta significancia a la profundidad de 0-15 cm para el tratamiento de siembra directa, pero no se registraron diferencias entre ambos tratamientos a la profundidad de 15-30 cm.

## **2.2. Efecto de la labranza en los microorganismos del suelo**

La materia orgánica, humificada o no, tiene una acción determinante en todos los aspectos relacionados con la dinámica de la vida edáfica. Los ácidos húmicos regulan el estado óxido-reductor del medio en el que se desarrollan las plantas. De esta forma, cuando el oxígeno es insuficiente, se facilita la respiración radicular de la planta en forma de “humatos”. Indirectamente, la materia orgánica mejora las propiedades físicas del suelo con lo que se favorece la respiración radicular, la germinación de la semilla y el estado subterráneo de los vegetales (Labrador, 1990).

Dos gases desempeñan un importante papel en los intercambios gaseosos que se producen en el medio suelo. El O<sub>2</sub> condiciona la respiración de las raíces y de los organismos que viven en el suelo e interviene también en las reacciones de oxidación características de la edafogénesis; por otro lado, el dióxido de carbono es producto de la actividad respiratoria vegetal y microbiana, y es necesario entre otras cosas para que los organismos autótrofos realicen sus síntesis orgánicas (Labrador, 1990). El intercambio que se produce entre la atmósfera exterior, la atmósfera del suelo y la solución del mismo funciona normalmente cuando su estructura es favorable y porosa. La MO humificada actúa positivamente sobre éstos parámetros físicos y como consecuencia favorecerá indirectamente la difusión de gases entre la atmósfera

interna y externa del suelo, con lo que beneficiará la actividad de la población microbiana aerobia.

La composición biológica del suelo es muy variada incluye la macroflora, la macrofauna e innumerables especies de microorganismos. Aunque dichos constituyentes de la biota del suelo son diversos y se encuentran íntimamente relacionados a través de la transferencia de energía en el suelo en forma de cadenas alimenticias. De tal manera que las interacciones entre los diferentes organismos del suelo involucran no solo la transferencia de energía, sino el reciclaje de nutrientes. Los microorganismos presentes en el suelo incluyen hongos, bacterias y actinomicetos.

La labranza de los suelos acelera los procesos a través de los cuales los microorganismos del suelo oxidan la materia orgánica. En general, la labranza conservacionista y la incorporación de abono verde cambian el ambiente del suelo y permiten incrementar la población microbiana; este efecto sin embargo, depende en gran medida de la fecha y profundidad del laboreo (Doran *et al.*, 1998). Las poblaciones de microorganismos en el suelo son mayores en la superficie en los sistemas de labranza reducida que en aquéllos en los que los residuos del cultivo se incorporan con la labranza. En los sistemas de labranza de cobertura utilizando el residuo de trigo se encontró que las poblaciones de hongos, actinomicetos y bacterias se incrementaron en forma significativa en los primeros 5 cm del suelo en comparación con la labranza convencional, lo anterior indica que las poblaciones microbianas en la profundidad de la capa arable (20-30 cm) son mayores en los suelos bajo labranza profunda que en aquéllos que solo reciben labranza superficial.

También se ha sugerido que la disminución en el nitrógeno disponible para las plantas con labranza de coberturas se debe a la inmovilización del mismo por la presencia de una población más alta de hongos en la superficie del suelo (Doran *et al.*, 1998).

Los regímenes de agua del suelo, temperatura y aireación y la focalización de los substratos microbianos (residuos) asociados con los sistemas de labranza convencionales y de conservación, regulan entonces los nichos ecológicos y los tipos de microorganismos que predominan. Los contenidos más altos de C, N y H<sub>2</sub>O en la superficie del suelo bajo sistemas de labranza de conservación se traducen en una población microbiana y actividad enzimática más alta, en comparación con la labranza convencional. Doran *et al.* (1998) cuantificaron incrementos en el número de microorganismos aeróbicos, anaeróbicos facultativos y desnitrificadores en la superficie (0 a 7.5 cm) de los suelos bajo labranza de conservación, los cuales fueron del orden de 1.14 a 1.58, 1.57 y 7.31 veces, respectivamente en comparación con la labranza convencional. Estas relaciones se invierten a la profundidad de 7.5 a 15 cm, aparentemente como resultado de la localización de los residuos de cultivo a mayor profundidad con la labranza y con el aumento en el contenido de agua. Doran *et al.* (1998) reportaron aumentos de 20 a 101 kg ha<sup>-1</sup> de N potencialmente mineralizable en los primeros 7.5 cm en un suelo no labrado relacionándolo con una mayor biomasa microbiana, al compararlo con labranza convencional. Esta alta población microbiana en la superficie en los sistemas de labranza de conservación actúa como una reserva para la inmovilización del fertilizante nitrogenado aplicado a la superficie.

Las poblaciones microbianas en labranza de conservación disminuyen rápidamente por debajo de los 7.5 cm de profundidad. Sin embargo, el número de anaeróbicos



facultativos y de nitrificadores a los 15 cm de profundidad se incrementan en relación a labranza convencional y representando una proporción significativamente mayor de la población total de microorganismos aeróbicos. Existe entonces un potencial mayor para el metabolismo anaeróbico y la desnitrificación con la labranza de conservación que con la labranza convencional. Un metabolismo menos oxidante en los suelos con labranza de conservación puede explicar los niveles bajos de nitratos que se encuentran en estos suelos cuando se comparan con la labranza convencional (España *et al.*, 2001).

### **2.3. Los abonos verdes**

La utilización del abono verde como práctica agrícola, conocida desde antes de la era cristiana, consistía en la incorporación al suelo de masa vegetal no descompuesta, con la finalidad de conservar o recuperar la productividad de las tierras agrícolas. Para esta finalidad ya en ese entonces eran utilizadas básicamente leguminosas.

Actualmente se concibe como abonado verde a la utilización de plantas en rotación, sucesión y asociación con cultivos comerciales, incorporándose al suelo o dejándose en la superficie, ofreciendo protección, ya sea para mantenimiento o recuperación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Costa *et al.*, 1992). Eventualmente, parte de esos abonos verdes pueden ser utilizados para la alimentación animal o humana, producción de fibras o producción de forraje (Murphy *et al.*, 1999). Lo anterior es un aspecto importante para la adopción de dicha práctica, puesto que cuanto mayor sea su utilidad en la propiedad, mayores serán sus

beneficios potenciales. En este nuevo enfoque, además de las leguminosas que son las plantas más utilizadas para este fin, también se usan gramíneas, crucíferas y cariofiláceas, entre otras.

### **2.3.1. Funciones del abono verde**

Protege la capa superficial del suelo contra las lluvias de alta intensidad, el sol y el viento, mantiene elevadas tasas de infiltración de agua por el efecto combinado del sistema radicular y de la cobertura vegetal. Las raíces después de su descomposición, dejan canales en el suelo y la cobertura evita una desagregación y sellado de la superficie y reduce la velocidad de escurrimiento. Promueve un considerable y continuo aporte de biomasa al suelo, de manera que mantiene e incluso eleva, a lo largo de los años, el contenido de materia orgánica. Atenúa la amplitud térmica y disminuye la evaporación del suelo, aumentando la disponibilidad de agua para los cultivos comerciales. Por medio del sistema radicular, rompe capas duras y promueve la aireación y estructuración del suelo, induciendo la preparación biológica del mismo. Promueve el reciclamiento de nutrientes; el sistema radicular bien desarrollado de varios tipos de abonos verdes, tienen la capacidad de traslocar los nutrientes que se encuentran en capas profundas hacia las capas superficiales del suelo, poniéndolos a disposición de los cultivos posteriores. Disminuye la lixiviación de nutrientes; la ocurrencia de lluvias intensas y de precipitaciones elevadas normalmente induce a un intenso proceso de lixiviación de nutrientes. El abono verde, al retener nutrientes en la fitomasa y liberarlos de forma gradual durante la descomposición del tejido vegetal, atenúa este problema. Promueve la adición de

nitrógeno al suelo a través de la fijación biológica de las leguminosas; esto puede representar una importante economía de este elemento en la fertilización de los cultivos comerciales, además de mejorar el balance carbono/nitrógeno (C/N) del suelo.

Los abonos verdes pueden reducir el crecimiento de malezas, ya que compiten con las mismas por recursos abióticos y bióticos, además de que tienen un efecto supresor y/o alelopático ocasionado por el rápido crecimiento inicial y exuberante desarrollo de la biomasa (Blackshaw, 2001).

Nuñez (2000) encontró efectos alelopáticos y supresores de abonos verdes sobre plantas invasoras, donde mucuna, crotalaria y el frijol rojo tienen efecto supresor sobre corocillo (*Cyperus rotundus*), avena estrigosa sobre capin melao (*Bracharia plantaginea*), centeno (*Secale cereale*), avena y haba, sobre *Bracharia plantaginea*, finalmente reporta que el clavel de muerto (*Tagetes patula*), ejerce efecto supresor sobre *Ipomea sp.*, bledo (*Amaranthus sp.*), *Desmodium porporium*, melao de San Calletano (*Mormodica charantia*) y *Europhobia hererofil*.

### **2.3.2. Características deseables de los abonos verdes**

Según Sullivan (2003) las principales características que deben ser observadas para la selección de los abonos verdes son:

- a) Presentar rápido crecimiento inicial (agresividad inicial) y eficiente cobertura del suelo;
- b) Producción de cantidades elevadas de fitomasa (materia verde y seca);

- c) Capacidad de reciclaje de nutrientes;
- c) Facilidad de implantación y manejo en campo;
- d) Presentar bajo nivel de ataque de plagas y enfermedades y no responder como planta hospedera;
- e) Presentar un sistema radicular profundo y bien desarrollado;
- f) Ser de manejo sencillo para su incorporación al suelo, facilitando la posterior implantación de cultivos.
- g) Presentar potencial para uso múltiple en la finca;
- h) Presentar tolerancia o resistencia a la sequía y/o heladas;
- i) Presentar tolerancia a la baja fertilidad y capacidad de adaptación a suelos degradados;
- j) Posibilidad de producción de semillas en cantidades suficientes para aumentar sus áreas de cultivo;
- k) No responder como planta invasora, dificultando los cultivos sucesivos o la rotación.

Sugiere además que los abonos verdes deben:

- a) Pertenecer a la familia de las leguminosas;
- b) Poseer semillas de tamaño medio (1000 a 1500 semillas  $\text{kg}^{-1}$ ), aptas para germinar en suelo preparado convencionalmente;
- c) Ser especies que produzcan plántulas robustas, capaces de soportar la inclemencia del tiempo;

d) Poseer semillas suficientemente permeables al agua, lo que facilita o favorece la germinación;

e) No ser plantas trepadoras, principalmente si fueran de ciclo perenne.

Puede agregarse también que:

f) Tengan facilidad de adaptación a los sistemas de cultivo predominantes en la región;

g) Tengan buena capacidad de rebrote en casos de corte de la parte aérea;

h) Tengan buena capacidad de resiembra natural.

A pesar de requerir tantas características, esto no significa que cada especie deba cumplir todos estos prerequisites. En realidad, dependiendo de la especie de abono verde (invierno o verano; arbustiva o rastrera, de ciclo corto o largo) del sistema de cultivo y de la condición del agricultor, algunos de los puntos pueden ser menos importantes. Sullivan (2003) menciona que difícilmente una especie cumplirá al mismo tiempo con todos los prerequisites mencionados anteriormente. Por esta razón, en el ámbito agrícola sólo algunas de estas características serán de importancia fundamental, siendo por lo tanto utilizadas como criterios de selección.

Normalmente las especies más utilizadas son leguminosas como la mucuna, el frijol de puerco, el gandul, las crotalarias, el frijol dolichos, el chicharo de vaca entre otras.

Las principales ventajas de esta práctica son la gran producción de biomasa, la elevada cantidad de nitrógeno fijado biológicamente y la cobertura del suelo que pueda formarse durante el período de lluvias de alta intensidad. Esta modalidad prevé

la utilización de abonos verdes durante el período de invierno, generalmente en la entrefra de los principales cultivos comerciales.

### **2.3.3. Abono verde intercalado con los cultivos**

En esta modalidad el abono verde es sembrado en la entrelínea del cultivo comercial y es especialmente adaptada a situaciones en las cuales el suelo tenga que ser utilizado de la manera más intensa posible. Este tipo de abono verde deber ser utilizado cuidadosamente, para evitar que el mismo compita con el cultivo comercial, ocasionando inclusive reducción en la productividad. Las principales ventajas de este sistema son el uso intensivo del suelo, el control eficiente de la erosión y la reducción de la propagación y dispersión de malezas o plantas exóticas (Bulisani y Roston, 1993).

### **2.3.4. Manejo del abono verde**

#### **Factores a ser considerados para la implantación de los abonos verdes**

Para que los abonos verdes puedan expresar al máximo su potencial de producción de biomasa, es necesario que se les ofrezcan condiciones mínimas para su crecimiento y desarrollo. Es fundamental conocer las exigencias para su cultivo, en lo que se refiere a temperatura, suelos y disponibilidad de agua (Bulisani y Roston, 1993). Estos tres parámetros posibilitarán el conocimiento de la respuesta de los abonos verdes y la definición de las mejores épocas de siembra, así como las mejores regiones de cultivo en función de los suelos que las forman.

En lo que respecta a la temperatura, los abonos verdes se dividen en dos grupos básicos: (a) abonos verdes de regiones subtropicales/templadas y (b) abonos verdes de regiones tropicales, comúnmente conocidos como abonos verdes de invierno y de verano.

Las especies invernales son adecuadas para el período del año en el cual comienza la declinación de las temperaturas altas de verano, en especial al presentarse temperaturas más moderadas durante la noche. La siembra debe realizarse de manera tal que no perjudique el crecimiento vegetativo o la fase reproductiva, que ocurre al inicio de la primavera.

En el caso de las especies tropicales o de verano es necesario observar la ocurrencia de bajas temperaturas al inicio del crecimiento, puesto que pueden causar daños irreversibles al retardar el crecimiento, o al final del ciclo imposibilitando la reproducción (por el aborto de flores o quema de frutos) o bien evitando la producción máxima de biomasa. La época de siembra de los abonos verdes de verano es determinante de la altura final y de la producción de biomasa de las especies de hábito erecto o de la expansión lateral de las especies de hábito rastrero/trepador (Wutke, 1993). De este modo, las siembras tardías de gandul y crotalarias, a partir del inicio del período lluvioso resultan en reducciones significativas de la altura de plantas (de 3m a 1m), disminución de la biomasa (Wutke, 1993; Wildner y Massignam, 1994), disminución de la cobertura del suelo y en el aumento de la incidencia de plagas, facilitando la cosecha de granos o bien dificultándola en su caso.

Los abonos verdes más utilizados tienen una amplia adaptación a los distintos tipos de suelo; las leguminosas en general son exigentes a un mínimo de fertilidad, dependiendo principalmente de una disponibilidad adecuada de Ca, Mg, P y K (Bulisani y Roston, 1993). Algunas leguminosas son más tolerantes a condiciones de suelos degradados. Las leguminosas de verano, por otro lado, parecen ser menos exigentes en fertilidad que las leguminosas de invierno. Otras especies de gramíneas, crucíferas y cariofiláceas son también menos exigentes que las leguminosas.

La disponibilidad de agua, representada por su cantidad y distribución, influyen marcadamente en el desarrollo de los abonos verdes y en la determinación de su época de siembra. Es importante, por tanto, identificar los períodos de déficit acentuado de agua para que sea posible anticipar o retardar la siembra de los abonos verdes. Según Bulisani y Roston (1993) la fase más crítica en la implantación de las leguminosas es la de la germinación y emergencia de plántulas, cuando la falta de agua puede restringir la obtención de una adecuada población de plantas. En las fases siguientes del ciclo vegetativo, por la naturaleza del sistema radicular, por la menor demanda de agua y por el propio estado de crecimiento, los perjuicios por diferencias hídricas son poco aparentes.

### **2.3.5. Manejo de la fitomasa**

La cantidad de fitomasa a ser producida en determinada área de explotación agrícola depende, fundamentalmente del interés y del objetivo del agricultor. El tiempo de permanencia de la cobertura vegetal es definido considerando el sistema de producción adoptado en la propiedad agrícola, pudiendo ser mayor o menor de aquel



hasta entonces recomendado para esa práctica agrícola. No debe prescindirse de la cobertura del suelo bajo cultivo en cualquier época del año, con miras al mantenimiento de su integridad física, química y biológica (Wutke, 1993).

**Incorporación total de la fitomasa.** Es el manejo más conocido y difundido entre los agricultores. La incorporación puede realizarse en cualquier momento, dependiendo de los objetivos del agricultor; la época tradicionalmente recomendada para ello es durante la floración plena del abono verde. Es en esta fase cuando ocurre la máxima acumulación de biomasa y nutrientes. Cuando se realiza anticipadamente, la velocidad de descomposición de la biomasa será mayor y los niveles de nutrientes serán menores. Cuando el manejo se retarda, las plantas se tornan más leñosas (relación C/N mayor) y la descomposición será más lenta. La opción por cualquier época estará en función, principalmente de la época de siembra del cultivo sucesivo. Esta operación debe realizarse con arados y discos.

**Incorporación parcial de la fitomasa.** Para obtener la incorporación parcial de la fitomasa se utiliza el mínimo de operaciones de preparación del suelo, necesarias para brindar condiciones favorables a la germinación de las semillas y al establecimiento de las plantas (Curi *et al.* 1993). Monegat (1991) menciona que para las condiciones de los pequeños agricultores de la región sur del Brasil, la opción del cultivo mínimo con tracción animal es la más recomendable, utilizando plantas de cobertura del suelo en el invierno (cultivo mínimo con *Vicia sativa*). En este caso, la única operación de preparación del suelo es la apertura de un surco, con el distanciamiento en que se hará la siembra del cultivo posterior, permitiendo que las entrelíneas del suelo

permanezcan protegidas. En este sistema la cobertura vegetal es prácticamente incorporada durante el surcado (20 a 40%). El resto de la cobertura vegetal podrá mantenerse en la superficie sea total o parcialmente incorporada durante la fertilización nitrogenada o durante el control de las malezas (Monegat, 1991). Este sistema es viable en áreas con baja incidencia de malezas; en caso contrario, el método químico podrá ser usado para el control de las malezas. El cultivo mínimo, además de los varios beneficios que proporciona, reduce la cantidad de mano de obra necesaria para la implantación de los cultivos, al ser comparado con el cultivo convencional.

**Cultivo mínimo antes de la floración del abono verde.** Se realiza en áreas cultivadas con abonos verdes de porte bajo o rastrero y con un desarrollo inicial lento, poca producción de biomasa y ciclo largo. El manejo se efectúa cuando las plantas presentan 100% de cobertura del suelo. Los surcos deben ser anchos y la siembra, de preferencia, en líneas apareadas. Este sistema permite la siembra anticipada de cultivos principales como puede ser el maíz y la resiembra natural del abono verde. Al final del ciclo del abono verde, entre las líneas apareadas del cultivo principal es posible establecer una nueva siembra tardía directa, caracterizando así una asociación de sustitución o sucesión de cultivos.

**Cultivo mínimo en la fase de floración plena del abono verde.** El manejo se realiza en la época de plena floración. Por lo común, cuando la producción de biomasa es muy grande, ocurren dificultades para realizar el surcado; aunque en algunas

ocasiones se atasca la reja del arado; otras veces, la biomasa del abono verde cae sobre el surco abierto, perjudicando la siembra y la emergencia del cultivo posterior. Para evitar estos problemas, se recomienda realizar un surcado cuando haya una cobertura total del suelo, también llamado presurcado. En este caso debe usarse un arado con reja media o grande. El presurcado retarda el crecimiento del abono verde y no permite la producción excesiva de biomasa. Durante la floración se realiza el surcado definitivo. Este tipo de cultivo mínimo se lleva a cabo con arvejilla común, arvejilla aterciopelada, chícharo y otras especies afines. Al final del ciclo vegetativo del abono verde también es posible implantar un nuevo cultivo, con siembra directa, como asociación de sustitución o sucesión de cultivos en las entrelíneas del cultivo principal.

**Cultivo mínimo después de la incorporación del abono verde.** Este es el ejemplo típico del cultivo mínimo con abonos verdes de verano, pero también puede usarse con abonos verdes de invierno. Para la incorporación de las plantas se utilizan equipos típicos como la rastra de picos, la rastra de discos, el arado de discos o incluso una segadora manual o mecánica. Después de una o dos semanas después de la incorporación, cuando la biomasa se encuentra en estado avanzado del secado, se procede al surcado. Para el surcado con presencia de abonos verdes de porte erecto se recomienda el uso del arado surcador tradicional. En presencia de abonos verdes de hábito rastrero, se recomienda adaptar un disco de corte al frente de la reja del arado para cortar los tallos de las plantas.

**Manejo de la fitomasa sin incorporación al suelo.** La secuencia de operaciones se inicia con el manejo de la biomasa sin incorporarla al suelo y termina con la siembra del cultivo principal sin la preparación del suelo, lo que es conocido como siembra directa. Para la siembra directa se utilizan máquinas especiales que abren un pequeño surco de profundidad y ancho suficientes para garantizar una buena cobertura y contacto de la semilla con el suelo (Curi *et al.*, 1993).

Para el manejo de la biomasa pueden utilizarse métodos mecánicos o métodos químicos (desección con herbicidas). Los métodos mecánicos deben usarse con mucho criterio, principalmente en relación a la época del manejo, para evitar problemas de una mala incorporación. Por eso, esta debe efectuarse en plena floración en el caso de leguminosas o en fase de grano lechoso en el caso de gramíneas. La variedad de máquinas sembradoras para la siembra directa es muy amplia; existen a disposición máquinas manuales especialmente adaptadas y máquinas de tracción motorizada, con sistema sembrador de precisión y accionado electrónicamente. La tecnología de la siembra directa para grandes áreas ofrece múltiples alternativas, mientras que para los agricultores pequeños son necesarios aún más y mejores equipos.

## **2.4. Efectos del abono verde en las propiedades del suelo**

### **2.4.1. Efectos en las propiedades físicas del suelo**

Los abonos verdes influyen directamente en las características físicas de los suelos incluyendo la estructura, capacidad de retención del agua, densidad, velocidad de

infiltración y aireación, dependiendo estos efectos de la calidad, cantidad y tipo de manejo dado al material adicionado, de los factores climáticos y de las características de los suelos.

Los residuos vegetales con bajos niveles de N tienen efectos directos sobre las propiedades físicas del suelo. En California, según Álvarez *et al.* (1995), se demostró que cuando la cebada se incorporó en un estado avanzado, la concentración de N disminuyó de 2.7% a 1.2% mientras que la tasa de infiltración aumentó en 60%. En un suelo más permeable, el residuo de un cultivo de maíz (0.7% de N) incrementó la infiltración al doble comparado con el cultivo de cobertura de caupí (2.5% de N). Asimismo después de tres temporadas de cultivos de cobertura con pastos de Sudán (1.3% de N), alternando con cultivos de altos rendimientos durante los inviernos, los resultados mostraron un 45% de incremento en la infiltración, comparados con el barbecho mientras que el mejoramiento con cultivos de cobertura de sesbania en el primer y tercer año (2.9% de N) no mostró diferencia alguna.

García (1997) al estudiar el efecto de la incorporación de los abonos verdes y tamo de trigo encontró un aumento del 10 % en el contenido de materia orgánica y de la estabilidad de los agregados en el suelo.

Las gramíneas se han destacado por la eficiencia en la formación de agregados, a través de la acción directa e indirecta de las raíces; es por ello que uno de los métodos más adecuados para mejorar la estructura de un suelo es mediante la mezcla de una gramínea con vigoroso sistema radical en constante renovación y una leguminosa que acelere la descomposición de los residuos vegetales. De con García (1997) con esta mezcla se incrementa la relación C:N del material añadido y se reducen los índices de

descomposición, lográndose incrementar rápidamente la materia orgánica del suelo. Según este mismo autor los resultados encontrados en China mostraron un incremento de la materia orgánica activa del suelo a 17%, del complejo orgánico mineral a 52% y de los ácidos húmicos en 6.1% con la incorporación de los abonos verdes. Asimismo, se observaron incrementos de la MO en 1.68% cuando se incorporaron abonos verdes por cuatro años de forma continua y en 2.14% cuando se incorporaron los abonos verdes por nueve años consecutivos; sin embargo las parcelas testigos mostraron sólo 1.21% de incremento. Por otra parte, la densidad aparente disminuyó en  $0.07 \text{ g/cm}^3$  cuando el abono verde fue aplicado en el primer año, en  $0.12 \text{ g/cm}^3$  en el segundo año y  $0.14 \text{ g/cm}^3$  en el tercer año. La porosidad se incrementó en 2.43, 4.97 y 8% respectivamente y los agregados estables o menores de 0.25mm se incrementaron a 6.84, 14.85 y 18.96% comparativamente.

Proebsting, citado por Malavolta (1989) en un estudio realizado durante 25 años consideró que la acción de microorganismos sobre la MO funcionó como cemento de las partículas del suelo, lo que llevó a la formación de agregados.

Por otra parte, en estudios realizados por Igue *et al.* (1984), se comprobó que un abono verde como cobertura vegetal es un factor importante en la conservación del agua en los suelos, en la mejoría de la infiltración y el drenaje de los arcillosos y en la disminución de la evaporación, permitiendo una mayor penetración del sistema radicular, así como un mayor aprovechamiento del volumen de agua.

En experimentos realizados en Jiangsu en la República Popular China, Lizhi (1991), citado por García (1997), refiere que durante el crecimiento de las plantas como abonos verdes la evaporación de la superficie del suelo se redujo de  $1.09$  a  $0.65 \text{ mm día}^{-1}$ , la

humedad se incrementó de 0.94 a 4.8% y los indicadores de desalinización fueron de 67.8 a 82.3%. De acuerdo con este mismo autor se observó una reducción de la temperatura el suelo a 30°C en las parcelas con abonos verdes de cobertura en comparación con temperaturas tan altas como 50°C en las parcelas sin coberturas de abonos verdes.

Otros trabajos han mostrado que existen leguminosas que actúan como subsoladores biológicos ya que presentan raíces poderosas capaces de romper las capas profundas del suelo, como por ejemplo, *Lupinus albus*, *Cajanus cajan*, las crotalarias y la *Leucaena leucocephala* (Da Costa, 1991).

La cobertura vegetal también ejerce influencia sobre la humedad y la temperatura del suelo. La influencia en la reducción de las pérdidas de humedad puede atribuirse a una sumatoria de varios factores. Se destacan las reducciones en la evaporación y el escurrimiento superficial y el incremento de la infiltración y capacidad de retención de agua en el suelo. Las diferencias en el contenido de humedad del suelo se hacen más pronunciadas en épocas de sequía, evidenciándose que la preparación del suelo cubierto atenúa el déficit hídrico de corta duración (Amado *et al.*, 1990).

Derpsch *et al.* (1985) estudiando sistemas de manejo de suelos en maíz, observaron que los mayores contenidos de humedad del suelo se registraron en parcelas con residuos de avena negra, y los menores con chícharo. La humedad del suelo durante el período vegetativo del maíz, en las parcelas con residuos de avena negra fue de 3.0 a 7.4% superior a la humedad del suelo de la parcela mantenida en descanso. Es importante subrayar que el análisis de las temperaturas máximas y mínimas es de

fundamental importancia debido a los efectos que ejerce la temperatura del suelo en la actividad biológica, la germinación de las semillas, el crecimiento radicular y la absorción de iones.

Derpsch *et al.* (1985) indicaron que las tasas de infiltración de agua en el suelo después de una cobertura verde evaluada con anillos concéntricos, aumentaron hasta en 416% en un latosol rojo y en 628% en un suelo de tierra roja estructurada, en comparación con la parcela de trigo. Incluso, la mayor infiltración persistió hasta el próximo cultivo de soya.

#### **2.4.2. Efectos en las propiedades químicas del suelo**

Los principales efectos químicos esperados con la utilización de los abonos verdes son, los siguientes (Da Costa, 1991):

- Aumento del contenido de MO del suelo a lo largo de los años, por la adición de fitomasa.
- Mayor disponibilidad de nutrientes principalmente de Nitrógeno, a través de su adición al suelo mediante la fijación biológica.
- Disminución del lavado de nutrientes.
- Incremento de la capacidad de reciclaje, absorción y reincorporación de los nutrientes que al ser lavados o lixiviados se encuentran en las capas más profundas del suelo y que no pueden ser aprovechados por los cultivos con sistema radical superficial.
- Elevación del pH del suelo y una consecuente disminución de la acidez.
- Ayudan en la formación de ácidos orgánicos fundamentales en el proceso de solubilización de minerales del suelo.



- Disminución de los contenidos de aluminio.
- Movilizan formas estables de P y K, convirtiéndolos en formas asimilables para las plantas actuando como biofertilizantes fosfóricos y potásicos.
- Reducen la acumulación de sales en la superficie del suelo y crean condiciones favorables para el desarrollo de las cosechas en suelos salinos-alcalinos.

Se han realizado numerosos trabajos que corroboran lo anteriormente planteado; en Australia se condujo un experimento por Álvarez *et al.* (1995) donde se utilizó el caupí intercalado en el maíz, obteniéndose como resultado que el 59.5 % del N de toda la biomasa aérea provino del suelo, el 3.3 % del fertilizante y un 37.3 % de la fijación atmosférica.

Otros trabajos demostraron que al intercalar soya o *Vigna spp* en el cultivo del maíz era equivalente a adicionar al suelo 80 kg de N. ha<sup>-1</sup>, además de que se produjo un incremento en el porcentaje de proteína en los granos de maíz. En Brasil fueron conducidos dos estudios durante tres años consecutivos por Smyth *et al.* (1991) para determinar el valor de la sustitución de la fertilización nitrogenada y la influencia de las leguminosas, comprobando que el principal valor de sustitución fue de 74 kg ha<sup>-1</sup> por la mucuna (*Stizolobium aterrimum*) y 26 kg ha<sup>-1</sup> por indigofera (*Indigofera tinetoria*) y caupí. En las condiciones de California, Álvarez *et al.* (1995) informaron que la veza lanuda proporcionó al maíz el equivalente a 225 kg.ha<sup>-1</sup> de fertilizante nitrogenado. Se ha demostrado que en términos de suministro de nutrimentos, los abonos verdes pueden aportar de 30 a 60 kg ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> de N y llegar hasta 100 kg.ha<sup>-1</sup> de N (Da Costa, 1991). También en Filipinas fueron evaluadas ocho especies de leguminosas como sustitutas de la fertilización nitrogenada, obteniendo como resultado que en dos años la sesbania y la

crotalaria acumularon cantidades de N superiores a las requeridas por el cultivo del arroz, además de aumentar el C orgánico del suelo y el N total (Meelu , 1992).

De acuerdo a García (1997), los abonos verdes incorporados en suelos ligeramente salinos, redujeron el contenido de sales en la capa superficial en 30%, en suelos medianamente salinos el contenido de sales se redujo a 67% y en suelos fuertemente salinos dicha reducción fue de 25%.

#### **2.4.3. Efecto en las propiedades biológicas del suelo**

Las plantas utilizadas como abonos verdes benefician la actividad biológica debido a que aportan un material orgánico para el suelo, determinante en la actividad de los microorganismos, constituyendo una fuente de energía para el desarrollo de los mismos. Cuando un suelo es manejado y preparado logrando su cobertura total, las oscilaciones térmicas serán menores y por tanto habrá un mayor desarrollo de los microorganismos y un aumento del número de nódulos por planta; además, al existir una mayor concentración de residuos en la superficie existirá una mayor disponibilidad de fósforo en las primeras capas del suelo favoreciendo la acción de las bacterias fijadoras de N (Da Costa, 1991). Lo anterior se demostró en experimentos conducidos por García (1997), el cual refiere que con la incorporación de los abonos verdes, la población de bacterias fijadoras de N fue de  $2.36 \times 10^4$ /g de suelo y sólo de  $0.2 \times 10^4$  en las parcelas testigo, en tanto que la intensidad respiratoria se presentó en el rango de 33.41 mg/100 g/día a 25.22 mg/100/día y la capacidad de nitrificación fue de 21.77 a 17.5%.

Resultados obtenidos en la India mostraron que la soya y el garbanzo intercalados en el cultivo del maíz durante dos años incrementaron sustancialmente la población de bacterias activas en la rizosfera del maíz, lo cual produjo un aumento en el rendimiento del mismo entre 5 a 20 % (García, 1997).

De acuerdo con Meelu (1992), los abonos verdes como *Crotalaria paulina*, *Crotalaria juncea* y *Stizolobium aterrimum* aumentaron la colonización de hongos micorrízicos arbusculares en el sistema radical del trigo. Lo anterior se debe según los autores a que las leguminosas son hospederas de hongos micorrízicos arbusculares, pudiendo alterar o potenciar el inóculo de dichos hongos y favorecer la colonización de cultivos en sucesión.

En general, los abonos verdes contribuyen a mantener el equilibrio biológico del suelo, protegiendo la micro y macrovida del mismo.

Las plantas usadas como abonos verdes, aún antes de su manejo como tal, influyen sobre la actividad biológica del suelo por el atenuante efecto físico sobre la variación de la temperatura y por el mantenimiento de condiciones adecuadas de humedad del suelo (Derpsch *et al.*, 1985).

Después del manejo de la biomasa, la presencia de material orgánico es el factor que más influye en la actividad y población de microorganismos, ya que la MO es fuente de energía para los organismos del suelo. Por esta razón, cuanto mayor sea la producción de biomasa de los abonos verdes, mayor será la población macro y microbiana del suelo.

Según Almeida (1985), las operaciones de preparación del suelo provocan la disminución de gran parte de sus constituyentes orgánicos, imponiendo condiciones

de elevadas temperaturas y situaciones alternas de secado y humedecimiento, que afectan a los organismos del suelo con mayor o menor grado de intensidad.

### **2.5. Efectos de los abonos verdes en el rendimiento de los cultivos**

Resultados obtenidos por Derpsch *et al.* (1985) demostraron la influencia marcada de los abonos verdes de invierno sobre la producción de maíz, frijol y soya; en dicho trabajo mayores rendimientos de maíz fueron obtenidos después de utilizar altramuz blanco (*Lupinus albus*) y arvejilla (*Vicia sativa*), mientras que en la producción de frijol, los mayores rendimientos fueron obtenidos después del nabo forrajero y avena negra. Según los citados autores, el número de granos por planta fue el factor que mayor significado tuvo en la composición del rendimiento del frijol. Resultados obtenidos por Scherer y Baldissera (1988) en un suelo característico de las costas basálticas de la región oeste catarinense (Brasil) se observó efecto positivo del cultivo de mucuna (*Mucuna pruriens* L.) como abono verde intercalado con maíz. En este caso fue evidente un mayor beneficio de la mucuna en el cultivo convencional que en la siembra directa y cultivo mínimo. Los autores suponen que este efecto sea resultante de la mayor cantidad de N proveniente de la tasa de mineralización de los compuestos orgánicos y de la mayor liberación de este elemento a corto plazo. Constataron también que el aumento de productividad provocado por el uso de la mucuna fue equivalente a una dosis de 30 kg N ha<sup>-1</sup> (700 kg ha<sup>-1</sup> de maíz), pero que esta diferencia disminuyó a medida que hubo aumento de la dosis de fertilización nitrogenada.

## **2.6. El frijol dolichos (*Lablab purpureus* L.) Sweet**

El frijol dolichos (*Lablab purpureus*) presenta una amplia cantidad de cualidades que se puedan utilizar con éxito bajo varias condiciones. La primera ventaja es su adaptabilidad no solamente es tolerante a la sequía, si no que puede crecer en una gama diversa de condiciones ambientales por todo el mundo. Permanece verde durante la estación seca y puede proporcionar hasta 60 t ha<sup>-1</sup> de materia verde; lo que anterior representa aproximadamente 6 t ha<sup>-1</sup> de materia seca (Humphreys, 1995).

Es una buena opción para la alimentación del ganado, una rica fuente de proteína y puede ser utilizado de diversas maneras, como pradera o cosechado en combinación con maíz, cortarlo como heno o ser mezclado con ensilaje del maíz. En varios experimentos (Humphreys, 1995) observó que el dolichos (Fig. 1) ofrece buenas características favorables para aumentar el peso del ganado y eleva la producción de leche durante la estación seca.



Fig. 1. Aspecto general del frijol dolichos (Beltrán, 2005).

El frijol dolichos puede ser una alternativa para sustituir a los cultivos forrajeros convencionales, especialmente durante la estación seca. Su alto valor nutrimental lo sitúa como un forraje verde con valor nutritivo para las zonas semiáridas y tropicales. El dolichos también puede utilizarse como cultivo de cobertura su follaje verde y denso protege al suelo contra la acción de los rayos del sol y disminuye la erosión por el viento o la lluvia. Como abono verde proporciona MO y fija el N ambiental en el suelo de tal modo que mejora la producción de los cultivos de una manera económica y ambientalmente sana.

En el ámbito mundial, se sabe sobre la utilización del dolichos en numerosos países, por lo que en diferentes foros se asegura que este cultivo puede ser un recurso excepcional para los sistemas agrícolas. En sitios donde el dolichos podría ser beneficioso, la capacidad de comprar la semilla es restringida por problemas económicos, además de que la voluntad de los productores de tomar el riesgo en

intentar una nueva práctica, para ellos es difícil romper debido al arraigo de paradigmas tradicionales. El esfuerzo se debe dirigir a realizar investigaciones más intensas para ampliar el conocimiento técnico y práctico sobre el dolicho y así lograr alcanzar su capacidad máxima. De este modo podremos ayudar a mejorar el nivel de vida y condiciones económicas en los países donde exista o prevalezca la escasez de alimentos (Humphreys, 1995).

En años recientes el uso de las leguminosas como forraje en los sistemas de producción ganadera para los rumiantes en las zonas tropicales ha aumentado considerablemente. En primer lugar mantener el suelo cubierto por una leguminosa reduce la erosión hídrica y la pérdida del material fértil. Esta cubierta puede conservar el suelo, mejorar el contenido de MO y competir con las malas hierbas (Humphreys, 1995). En segundo lugar, la simbiosis de la leguminosa-rhizobium convierte el N atmosférico (n) a las formas químicas de N que las plantas pueden utilizar para su desarrollo de esta manera también se puede completar el ciclo dentro del sistema planta-animal-suelo. La simbiosis de la leguminosa-rhizobium provee a los agricultores de una fuente económica de N y realizan una producción de cultivos ambientalmente limpia. Esta simbiosis no implica el consumo de combustibles fósiles, como ocurre en la producción de los fertilizantes nitrogenados químicos sintéticos que contribuyen entre otros procesos al calentamiento global (Humphreys 1995; Said y Tolera 1993). Como consecuencia de diversas rutas bioquímicas de la fijación del C durante la fotosíntesis, las leguminosas que fijan N tienen concentraciones más altas de proteína celular. Como consecuencia de ello, las

leguminosas forrajeras tropicales son más ricas en proteínas, por lo que son una buena opción para incluirlas en las dietas para la producción pecuaria.

### 2.6.1. Descripción de la planta

El dolichos es una planta leguminosa perenne, anual o de corta duración, se siembra para el pastoreo del ganado y conservar el matillo del suelo en ambientes en zonas tropicales con lluvias de verano. Su crecimiento rastrero y vigoroso contribuye al control de malas hierbas; también tolera el ataque de plagas y enfermedades (Cameron 1988). Los tallos rastreros pueden alcanzar hasta 3 m de longitud. Las hojas son grandes, trifoliadas y pueden llegar a medir de 7 a 15 cm de longitud (Fig. 2) (Cameron 1988).

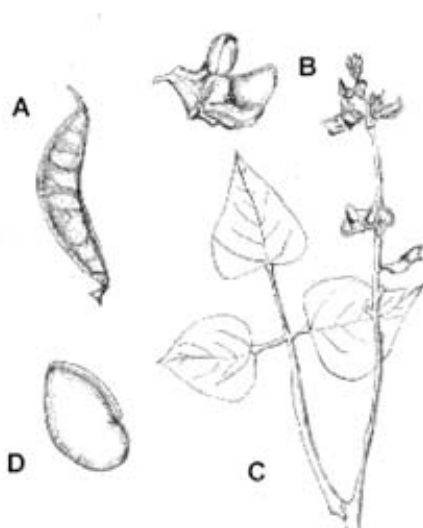


Fig. 2. Esquema de *Lablab purpureus*.  
(A. Vaina; B. Flor; C. Vástago con las hojas y las flores; D. Semilla.)



## **2.6.2. Características agronómicas**

### **Condiciones ambientales**

El dolichos es una leguminosa que se adapta adecuadamente a la mayoría de los ambientes tropicales, a altas y bajas temperaturas, escasez de agua y altitud variable (Hendricksen y Minson 1985; Cameron, 1988). Por debajo de los 20° C la planta reduce su crecimiento; las hojas comienzan a caer cuando la temperatura es de 2° C o menos; aun así, la planta puede sobrevivir una helada corta (Mayer *et al.*, 1986). El dolichos se puede encontrar a través de las zonas tropicales y subtropicales y se extiende a partir de los 30° LS hasta 30° LN. Se desarrolla normalmente desde el nivel del mar hasta elevaciones entre de 1800 y 2100 m (Cameron, 1988).

### **Suelo**

El dolichos crece en una amplia gama de tipos del suelo, desde las arenas profundas a las arcillas negras pesadas y tolera intervalos de pH de 5 a 7.5. La planta puede sobrevivir a períodos cortos de inundación y crece apropiadamente en terrenos aluviales (Menéndez *et al.*, 1985); solo requiere suelos bien drenados, pues no tolera la acumulación de agua en el suelo por periodos prolongados. Las condiciones salinas pueden reducir el crecimiento de la planta, produciendo hojas cloróticas. La fertilidad del suelo es importante; el frijol dolichos responde bien a la aplicación de abonos fosfatados, los cuales se recomiendan aplicar al momento de la siembra (Cameron, 1988).

### **2.6.3. Producción de forraje**

El período de crecimiento puede variar desde 75 hasta 300 días. En condiciones ideales, producirá su crecimiento vegetativo máximo en 130 días (Mayer *et al.*, 1986). Una vez que esta establecido, el dolichos es tolerante a la sequía y permanece con el follaje verde durante la estación seca. La producción de materia seca por ha difiere con la precipitación, la condición del suelo y la época de siembra. Experiencias en Australia sugieren que 4000 kg de materia seca se logran con una producción máxima de hoja de dos toneladas (Cameron, 1988; Mayer *et al.*, 1986). La relación del peso de la hoja y el vástago se modifica con el corte y los procedimientos de cosecha, a partir de la relación 30:70 hasta 45:55. Cuando el ganado pastorea durante los primeros días del crecimiento o en la madurez, se seleccionarán predominantemente las hojas, que tienen un contenido proteínico más alto que el vástago. Sin embargo, si la planta se utiliza como heno o se preserva como ensilaje, los animales consumirán fácilmente la planta entera (Mayer *et al.*, 1986). El dolichos produce bajo una amplia gama de condiciones, particularmente cuando está creciendo en ambientes áridos (Mayer *et al.*, 1986). La otra ventaja de esta leguminosa es la flexibilidad en los esquemas de alimentación; se adapta bien al pastoreo y se puede alimentar al ganado en forma de heno de buena calidad o bien puede ser utilizado en el ensilaje (Cameron, 1988).

### **2.6.4. Plagas y enfermedades**

Aunque al dolichos se le han encontrado varias plagas y enfermedades en plantaciones de dolichos, sólo algunas causan pérdidas serias. En varias áreas del

mundo, el dolichos está virtualmente libre de plagas y enfermedades. En Honduras, existen evidencias de ataques de moderados a severos del insecto diabrotica (*Diabrotica* spp.), el ataque se ha observado en la época de mayor sequía (Flores, 1993).

#### **2.6.5. Uso agrícola**

Además de su potencial como fuente nutrimental en la alimentación del ganado, el frijol dolichos ofrece otras ventajas cuando se utiliza en sistemas agrícolas. Por ser una leguminosa, esta planta proporciona la fijación biológica del N. La acción natural de convertir N atmosférico en las formas disponibles para la planta mejora la productividad de una manera barata y ambientalmente sana.

El nivel de fijación de N está en relación con la eficacia en la formación de nódulos, lo cual depende del índice de crecimiento de la leguminosa y de las condiciones del suelo; generalmente de 15 a 40 kg de N son fijados para cada 1000 kg de materia seca (Humphreys, 1995).

También se ha demostrado el uso del dolichos como abono verde, el cual incorporado al suelo incrementa los niveles de materia orgánica, así como el contenido de N y otros nutrimentos en el suelo. El frijol es incorporado al suelo con un paso de rastra (Fig. 3) cuando este se encuentra en etapa de floración. Si el suelo no será utilizado el mismo año, entonces las plantas se utilizan como pasto en la estación seca.

Un método económico de cultivar el dolichos para la mejora del suelo y para la alimentación del ganado es sembrar esta leguminosa asociada con el cultivo del maíz. Durante los primeros días el dolichos crece lentamente debido a la competencia con

las malas hierbas entre las filas del maíz, pero no compite con el maíz. Cuando el maíz comienza a madurar, las plantas de dolichos comienzan a crecer más vigorosamente y a obtener un desarrollo mayor (Sinclair, 1996). Esta técnica corrige la carencia de proteínas en la estación seca y promueve a elevar el contenido de proteínas, así como a compensar la relación C/N de los residuos de cosecha. El dolichos se puede incorporar en sistemas de pastoreo de manera rotatoria (Jones *et al.*, 1991). Otra ventaja de usar el dolichos es que se trata de un grano de vaina que puede ser utilizado en el consumo humano (Wood, 1983). El dolichos produce vainas blandas que pueden ser consumidas como vaina verde o en grano. Una vez que se cosechen los granos maduros, solamente necesitan ser cocinados para proporcionar el alimento para los seres humanos (Sinclair, 1996). Combina una gran cantidad de cualidades que se puedan utilizar con éxito bajo varias condiciones. Su primera ventaja es su adaptabilidad no solamente es tolerante a la sequía, también puede desarrollarse en una gama diversa de condiciones ambientales por todo el mundo.



Fig. 3. Incorporación de frijol dolichos con rastra de discos (Beltrán, 2005).

#### **2.6.6. Contenido nutrimental y bromatológico**

Dentro de los nutrimentos destacan los elementos esenciales que toda planta necesita de manera indispensable para su desarrollo normal. Los nutrientes esenciales son básicamente 16, con algunas excepciones. Dentro de este grupo los elementos se clasifican como macro y microelementos, de acuerdo con la cantidad en que cada uno es requerido por la planta. Los macroelementos son aquellos de los que la planta requiere más del 0.1% de la biomasa seca producida (Etchevers, 1987) y son los siguientes:

- 1) Los que la planta toma principalmente de la atmósfera: Carbono(C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O);
- 2) los macroelementos primarios que la planta toma del suelo: Nitrógeno (N), Fósforo (P), y Potasio (K);

3) los macroelementos secundarios: Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S). Mientras que los microelementos son aquellos que la planta requiere en menores cantidades y son los siguientes: Hierro (Fe), Cloro (Cl), Boro (B), Cobre (Cu), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo) y Zinc (Zn) (Potash and Phosphate Institute, 1988).

El volumen y la riqueza nutrimental que se incorpora constituyen la parte mas visible y lo que da el nombre de abono verde al cultivo de cobertura que se siembra con el objetivo de ser incorporado al suelo. Este aspecto no solamente está influenciado por la especie utilizada sino también por el tipo de suelo y su grado de fertilidad. En general el contenido de nutrimentos del vegetal está directamente relacionado con el rendimiento de la masa verde, el tiempo de incorporación y la etapa fonológica de corte entre otros factores, aunque no sucede así con la concentración de los elementos esenciales en la planta, en particular de N, P y K que tiene tendencia a disminuir después de los 45 días.

### **2.7. El cultivo de la albahaca orgánica**

Baja California Sur es el único productor de albahaca orgánica en el ámbito nacional. El 100% de albahaca producida en el Estado está certificada como orgánica. Aunque el cultivo de albahaca también se produce en los estados de Morelos y Nayarit, en dichos estados se realiza de manera convencional (no orgánica), por lo que no representa competencia para el sistema-producto albahaca orgánica para BCS.

La oferta de albahaca sudcaliforniana se efectúa en el ámbito internacional, específicamente en los mercados de California, Texas y Chicago en los Estados

Unidos de América. La siembra se realiza en las épocas de otoño-invierno y primavera-verano, en la época de otoño-invierno es cuando se siembra el mayor número de ha llegando a 500 hectáreas en el año 2002 y a 200 ha en primavera-verano. El volumen de producción en ambos ciclos para el año 2002 osciló entre 1400 a 2000 toneladas.

Según datos de SAGARPA (2004) el consumo de los productos orgánicos presenta un crecimiento anual del 20 al 25%, representando una opción viable en todos aspectos, el económico, social y ambiental. La agricultura orgánica se conceptualiza como un sistema integral de gestión de la producción que fomenta y mejora la salud del agrosistema y en particular la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad microbiológica del suelo. Los sistemas de producción orgánica se basan en normas de producción específicas y precisas cuya finalidad es lograr agrosistemas óptimos y que sean sostenibles desde el punto de vista social, económico y ecológico. Los requisitos para los alimentos producidos orgánicamente difieren de los relativos a otros productos agrícolas en el hecho de que los procedimientos de producción son parte de la identificación y etiquetados de tales productos (CODEX, 1999)

La certificación es un sistema de confianza que permite a los consumidores mediante un sello específico, identificar cuando un producto ha sido cultivado en todo su proceso productivo bajo estrictas normas de producción orgánica. Se certifica que los sistemas de producción desde la semilla o plántula hasta que el producto llega a manos del consumidor, estén libres de agentes contaminantes como insecticidas, fertilizantes o agentes microbiológicos que puedan dañar la salud humana.

La albahaca orgánica producida en Baja California Sur cumple con la Norma de Producción Orgánica (NOP) de los Estados Unidos de América, la albahaca es uno de los productos más apreciados en el sector de hierbas y hortalizas como alimento, sazónador y/o producto medicinal. (SAGARPA, 2004).

### **2.7.1. Fertilidad de suelos en la producción orgánica**

Para alcanzar el estándar de práctica para fertilidad del suelo y manejo de nutrimentos en la producción de cultivos orgánicos según la empresa certificadora Oregon Tilth Certified Organic (OTCO, 2002), el productor deberá cumplir los siguientes requisitos para el cultivo de productos orgánicos según su normatividad interna y la Normatividad de Producción Orgánica (NOP) de los Estados Unidos.

- a. El productor deberá seleccionar e implantar prácticas de labranza y cultivo que mantengan o mejoren la condición física, química y biológica del suelo y minimice su erosión.
- b. El productor deberá manejar nutrimentos para cosechas y fertilidad del suelo por medio de rotaciones, cosechas de cobertura y aplicación de materiales de la vida vegetal como abonos verdes y vida animal.
  - c. El productor deberá manejar materiales de vida vegetal y animal para mantener o mejorar el contenido de material orgánico del suelo de una manera que no contribuya a la contaminación de las cosechas, del suelo o agua con exceso de nutrimentos para la vida vegetal, con organismos patogénicos, metales pesados o residuos de sustancias prohibidas.



Los materiales de vida vegetal y animal incluyen:

*(1) Estiércol crudo de animal, que se deberá convertir en abono a menos que se:*

- (i) Aplique en el terreno que se utilizó para una cosecha que no sea destinada para el consumo humano.
- (ii) Incorpore dentro del suelo no menos de 120 días antes de cosechar un producto cuya porción comestible tenga contacto directo con la superficie del terreno o partículas del suelo; o
- (iii) Incorpore dentro del suelo no menos de 90 días antes de cosechar un producto cuya porción comestible no tenga contacto directo con la superficie del terreno o partículas del suelo;

*(2) Materiales de vida vegetal y animal convertidos en abono producido por medio de un proceso que*

- (i) Estableció una proporción inicial C:N entre 25:1 y 40:1; y
- (ii) Mantuvo una temperatura entre 131° F y 170° F durante 3 días usando un sistema ya sea de amontonado o aireado estático o bien dentro de una vasija; o
- (iii) Mantuvo una temperatura entre 131 ° F y 170 ° F durante 3 días utilizando un sistema de hilera para conversión en abono, durante cuyo período, las materias se debían girar cinco veces como mínimo.

*(3) Materiales de vida vegetal no convertidos en abono.*

(d) Un productor podrá manejar nutrimentos para las cosechas y la fertilidad del suelo con el objeto de mantener o mejorar el contenido de MO en el suelo de una manera que no contribuya a la contaminación de las cosechas, del suelo o agua causado con exceso de nutrimentos para la vida vegetal, organismos patogénicos, metales pesados o residuos de sustancias prohibidas con la aplicación de:

(1) Un nutrimento para cosechas o para rectificación del suelo incluido en la Lista Nacional de Sustancias Sintéticas Permitidas para el uso en la Producción de Cosechas Orgánicas;

(2) Una sustancia mineral extraída de baja solubilidad;

(3) Una sustancia mineral extraída de alta solubilidad, siempre que la sustancia se use en cumplimiento con las condiciones establecidas en la Lista Nacional de Materiales no Sintéticos Prohibidos en la Producción de Cosechas;

(4) Las cenizas que se obtengan por quemar un material de vida vegetal o animal, siempre que el material quemado no haya sido tratado o combinado con una sustancia prohibida o las cenizas no deberán estar incluidas en la Lista Nacional de Sustancias no Sintéticas Prohibidas para el uso en la Producción de Cosechas Orgánicas; y

(5) Un material de vida vegetal o animal que haya sido alterado químicamente por medio de un proceso de manufactura: Siempre que el material se incluya en la Lista Nacional de Sustancias Sintéticas Permitidas para el uso en la Producción de Cosechas Orgánicas que se establecen en la norma.

(e) El productor no deberá utilizar:

(1) Cualquier material fertilizante o de vida vegetal o animal convertido en abono que contenga una sustancia sintética no incluida en la Lista Nacional de Sustancias Sintéticas Permitidas para el uso en la Producción de Cosechas Orgánicas;

(2) Fango de aguas residuales (biosólidos); y

(3) Un incendio como medio para destrucción de los residuos de cosechas producidos en la operación: excepto que el incendio se pueda usar para contener propagación de enfermedades o estimular la germinación de las semillas.

### 3. Justificación

Durante miles de años diversas culturas que florecieron y se desarrollaron en el mundo veneraron el suelo, el agua y otros recursos naturales por lo que se procuraba utilizarlos racionadamente de acuerdo a sus creencias ello les permitió desarrollar sus culturas y alimentar sus habitantes sin deterioro de tales recursos. Cuando se extendieron los dominios de las culturas occidentales muchas de esas creencias dejaron de existir por lo que se empezaron a explotar inadecuadamente muchos de los recursos hasta llegar al Siglo XX, en el que los adelantos científicos y tecnológicos permitieron la expansión demográfica al nivel de billones de habitantes. Durante los años 20's y 30's del Siglo XX fue cuando varios especialistas de Estados Unidos de América reconocieron por primera vez el problema de la erosión y degradación del suelo (Hartwig y Ammon, 2002).

Durante las décadas de la mitad del siglo XX la producción agrícola se incrementó debido a los aumentos en la mayoría de las ocasiones indiscriminadamente en el uso de fertilizantes, toda clase de agroquímicos y prácticas mecánicas consumistas de combustible fósil, con la consecuente contaminación y degradación de los recursos (Kleinhenz *et al.*, 1997; Marco y Reyes, 2003).

Es hasta las últimas décadas del siglo pasado y principios del Siglo XXI que se ha logrado ser más concientes de que el avance de la civilización depende de la habilidad de una cultura de producir no solo del alimento suficiente para sobrevivir sino también del uso sostenible de los recursos requeridos para ello. Por lo anterior, actualmente uno de los paradigmas de la productividad agropecuaria es mantener la

productividad del suelo para la población que constantemente aumenta, lo cual es esencial en este proceso (Paine y Harrison, 1993; Hartwig y Ammon, 2002).

En México, durante los últimos cuarenta años se han registrado cambios drásticos, al mantener un crecimiento de su población, una urbanización y una industrialización aceleradas y al modificar las políticas relativas al campo, lo cual provoca alteraciones irreversibles sobre superficies que anteriormente conformaban los ecosistemas terrestres del país (INEGI, 1997).

Baja California Sur tiene una superficie total de 7.36 millones de hectáreas, de las cuales 61,725 ha cuentan con potencial agrícola sin embargo, en los últimos cinco años se han cultivado un promedio anual de 52,600 ha, sobresaliendo los cultivos básicos (trigo, maíz, garbanzo) con el 58.3 % de la superficie sembrada, las hortalizas (tomate, chile, cebolla, y otras), de los cuales 8 % corresponde a cultivos perennes (frutales y forrajes) 17.5 % a industriales y otros con 16.2 % (INEGI, 2002).

La explotación agrícola se concentra en el Valle de Santo Domingo, Municipio de Comondú, en donde actualmente se siembran alrededor de 40,000 ha en promedio, lo que representa el 76 % de la superficie total sembrada y de donde se obtiene el 47 % del valor total de la producción en el Estado. En cambio, en el resto de las regiones agrícolas, donde se establecen las 12,600 ha restantes, se genera el 53 % del valor total de la producción estatal, dedicándose el 14 % de su superficie a cultivos básicos e industriales, 52 % a hortalizas y el resto a perennes (INEGI, 2002).

Lo anterior demuestra que el cambio de la estructura productiva no ha logrado el avance requerido en cultivos de mayor valor comercial, principalmente en el Valle de Santo Domingo, por lo que se estima de suma importancia fomentar la producción

para el mercado exterior, ya que la producción agrícola de la entidad, debido a la condición insular enfrenta costos de producción y comercialización muy elevados, ocasionando con ello baja rentabilidad en algunos cultivos, el cual es el caso de los cultivos tradicionales (granos). Sin embargo, las propias características de la región favorecen en la preservación de un extraordinario *estatus* fitosanitario que se ha alcanzado, destacando la condición libre de la plaga moscas de la fruta lo que hace factible cultivar más de 50 tipos de productos hortícolas y más de 12 especies de frutales (INEGI, 2002)

Los abonos químicos industriales desequilibran el suelo desde el punto de vista mineral, ionizándolo de una manera exagerada, dichos iones penetran por osmosis, dada su alta solubilidad y de este modo la planta los absorbe rápidamente, con más frecuencia y en mayor proporción de lo que realmente necesita. Lo anterior resulta inconveniente para la salud del consumidor. La fertilización basada en materiales naturales y orgánicos puede asegurar un suministro de elementos necesarios sin dañar el ambiente y al ser humano (Álvarez, *et al.*, 2005).

La agricultura moderna tiende, en general, a la simplificación del ecosistema. El laboreo ha alterado los suelos por la adición o remoción de nutrientes, reducción de la acidez por la adición de cal, remoción de rocas para facilitar las operaciones agrícolas, nivelación de las superficies para facilitar el riego y mecanización. Se ha modificado intensivamente la estructura de los suelos y del paisaje, todo justificado por la posibilidad de incorporar recursos agrícolas al sistema económico (Marco y Reyes, 2003).

Uno de los problemas más graves derivados de la agricultura es el agotamiento del suelo, tanto en cantidad y calidad de humus como en elementos minerales. La alternativa para solventar esta situación es el suministro de fertilizantes al suelo. Si bien los abonos, tanto de origen químico como orgánico, restablecen algunas condiciones fisicoquímicas del suelo, también pueden producir acumulación de algunos minerales como el N y el K. Estos elementos, al ser lavados por las aguas de lluvia o riego, pueden acumularse en los cuerpos hídricos donde fluyen, tales como embalses o lagunas naturales, generando su eutrofización (Marco y Reyes, 2003)

Los diversos sectores involucrados (productores e investigadores) necesitan información generada científicamente para desarrollar agricultura redituable y sostenible mediante la aplicación de métodos agroecológicos que permitan al suelo mantener a las plantas, al mismo tiempo que se conserven y enriquezcan las propiedades nutrimentales del suelo. En este sentido, la reducción en las pérdidas de suelo fértil son importantes por múltiples razones, entre las que se encuentran la protección de la calidad del agua y el ambiente, así como el sostenimiento de la capacidad productiva del suelo. Prácticas de reducción de labranza, labranza de conservación -entendida como la reducción de labranza y el uso de cobertura vegetal permanente sobre el suelo (Erenstein, 1997), así como la incorporación de MO han sido los sistemas más estudiados y que hasta la fecha presentan resultados más prometedores en diversas regiones del planeta. En este contexto, una de las responsabilidades de los investigadores es el estudio profundo de las variables físico-químicas y biológicas para el entendimiento de los procesos ahí presentes, eligiendo métodos de análisis de precisión con la finalidad de explicar con fundamento

científico los fenómenos que se presentan en tales condiciones. Uno de los métodos de protección de suelo y agua que han presentado mejores resultados empleando otros cultivos en diferentes áreas es la incorporación de abonos verdes con la finalidad fundamental de mantener y mejorar el contenido de MO del suelo.

La pérdida de MO reduce el suministro de N procedente del humus original, disminuyendo la capacidad de retención de agua del suelo y aumentando la susceptibilidad de éste a la compactación y la erosión (Beltrán-Morales, 2000). Deben entonces aplicarse fertilizantes para mantener el rendimiento. Sin embargo, los fertilizantes minerales no bastan para sustituir los atributos biológicos y físicos de la MO ni proporcionan forzosamente los nutrientes indispensables para las plantas. Por consiguiente, en todo sistema agrícola es importante el reciclaje de la MO, otros sistemas que se están estudiando con la misma finalidad incluyen el uso de estiércol de ganado, el compostaje, la rotación de cultivos con leguminosas, el manejo del ganado para que pade en cultivos forrajeros y abone así la tierra con estiércol, así como diversos sistemas de preparación del suelo y los policultivos.

Los sistemas de producción orgánica se basan en normas de producción específicas y precisas cuya finalidad es lograr agrosistemas óptimos y que sean sostenibles desde el punto de vista social, económico y ecológico.

Para alcanzar el estándar de práctica para fertilidad del suelo y manejo de nutrientes en la producción de cultivos orgánicos conlleva a que el productor debe cumplir ciertos requisitos para el cultivo de productos orgánicos según su normatividad interna y la Normatividad de Producción Orgánica (NOP) de los Estados Unidos de América; tales como la selección e implantación de prácticas de labranza y cultivo



que mantengan o mejoren la condición física, química y biológica del suelo y minimicen su erosión, incluyendo el uso obligado de abonos verdes. Los resultados de investigación en Baja California Sur han sido escasos, no sistemáticos y carentes de un programa integral de estudios e investigaciones que contemplen desde el conocimiento de las especies más adaptadas, así como su adecuado manejo hasta su integración final a los sistemas agroproductivos en una amplia gama de cultivos agrícolas. En este contexto, se busca el beneficio para los productores orgánicos del Estado, donde existen varias empresas que están constituidas en 140 sectores productivos, incluyendo 12 núcleos ejidales, los cuales generan un valor de la producción de 8 millones de dólares anuales, provenientes de diversos cultivos hortícolas y hierbas aromáticas, entre ellos la albahaca que genera el mayor número de divisas.

#### **4. Hipótesis**

La especie *Lablab purpureus* presenta características bromatológicas y nutrimentales superiores a otras especies de leguminosas que se han evaluado como abono verde en zonas áridas. *L. purpureus* utilizado como abono verde incrementa la condición nutrimental de un suelo *Yermosol haplico* de zonas áridas, lo cual se reflejará en las variables edáficas medibles, considerando características químicas, físicas y biológicas. En su actividad como abono verde, esta especie incrementa el contenido de MO, así como el nivel de la actividad microbiana del suelo, medida en base a la respiración de los microorganismos del suelo por medio de la mineralización del carbono. A su vez, niveles de labranza reducida demostraran efectos positivos sobre las variables mencionadas.

## 5. Objetivos

Determinar el efecto de tres sistemas de labranza e incorporación de abono verde en la recuperación de la fertilidad de un suelo, medido en el contenido de MO, N, P, K y actividad microbiana, utilizando para ello la incorporación al suelo de abono verde de frijol Dolichos (*Lablab purpureus* L.).

Determinar el contenido nutrimental en base a materia seca del frijol dolichos como potencial fertilizante biológico.

Determinar el contenido nutrimental en base a materia seca del cultivo de la albahaca como especie indicadora de las cualidades del frijol dolichos como fertilizante biológico.

Determinar la influencia de tres sistemas de labranza e incorporación de frijol dolichos sobre la compactación del suelo.

## **6. Materiales y métodos**

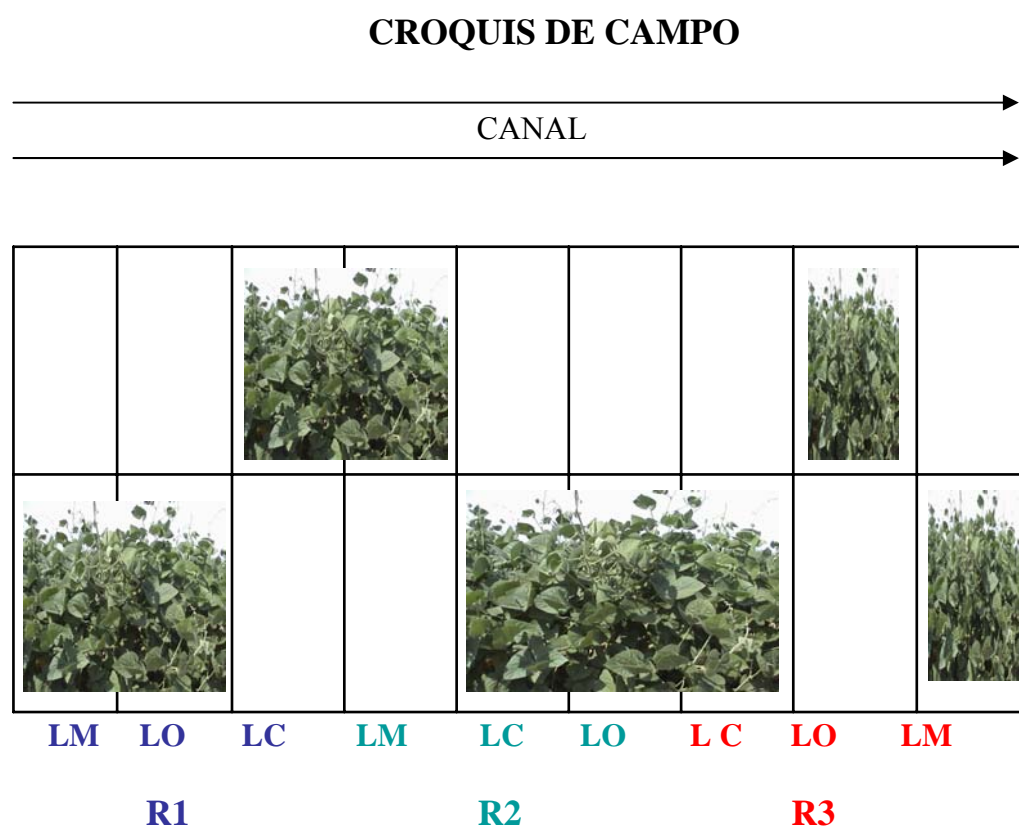
La investigación se realizó en la unidad experimental orgánica certificada (MEXICO-OTCO-CO-93-00276) situada en el Campo Agrícola Experimental de La Universidad Autónoma de Baja California Sur (CAEUABCS), en la ciudad de La Paz, Estado de Baja California Sur, localizado en la parte meridional de la península de Baja California, en el noroeste de México. Baja California Sur se ubica entre los paralelos 22° 52' y 28° 00' latitud norte y 109° 15' y 115° 05' longitud oeste, limita al norte con el Estado de Baja California, al sur y al oeste con el Océano Pacífico y al este con el Golfo de California que lo separa del resto del territorio mexicano. La mayoría de los suelos del estado presentan una textura areno-migajosa, el contenido promedio de MO en este tipo de suelos en la región es de aproximadamente 0.4%. En esta zona se presenta un clima BW (h') h w (e), es decir, seco desértico cálido, con una temperatura media anual mayor a 22 °C y con lluvias predominantes en verano, la precipitación promedio anual es de 184 mm. El suelo del sitio experimental presenta un contenido de arena de 75%, 15 % de limo y 10 % de arcilla.



Fig. 4. Vista general del experimento de campo (Beltrán, 2003).

El estudio se realizó durante los años 2003 y 2004, utilizando un diseño de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones. La unidad experimental (Fig. 4) tuvo una dimensión de 6 x 10 m (60 m<sup>2</sup>). Los factores en estudio fueron Labranza (A) y Abono verde (B). En el factor A se evaluaron tres niveles de labranza (L1: labranza convencional, consistente en un paso de arado (Fig. 6) y dos de rastra; L2: labranza mínima, consistente en dos pasos de rastra y L3: labranza óptima con un solo paso de rastra (para incorporar los residuos). El factor B consistió en la aplicación de dos niveles de abono verde (con incorporación y sin incorporación) sobre cada uno de los niveles de labranza (Fig. 5). El abono verde utilizado fue frijol dolichos, especie leguminosa de amplia aceptación en Centroamérica como abono verde en agroecosistemas conservacionistas (Murphy y Colucci, 1999). La incorporación del abono verde el cual se sembró únicamente en

las unidades correspondientes al tratamiento “con incorporación”, se realizó cuando el frijol dolichos presentó un 10 % de floración, a los 90 días después de la siembra. El abono verde se sembró en las parcelas dentro de la unidad experimental y, posteriormente, se incorporó enterrándolo en el suelo con una rastra excéntrica de discos cuya profundidad de trabajo oscila entre 15 y 20 cm.



LM=LAB. MINIMA  
 LO=LAB. OPTIMA  
 LC=LAB. CONVENCIONAL

Fig. 5. Localización de los tratamientos en campo.



Fig. 6. Preparación mecánica del suelo (Beltrán, 2003).

### **6.1. Variables físicas y químicas del suelo**

Las variables físicas y químicas del suelo incluidas en el estudio fueron el contenido de MO (%), la cual se determinó mediante la técnica de Walkey y Black; N total (%) se obtuvo mediante el digestor Kjeldahl, el P ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) se determinó por el método de Olsen; el K ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) por el método de Pech y la densidad aparente ( $\text{g cm}^{-3}$ ) por el método de la parafina. Los muestreos de suelo se realizaron con barrena a una profundidad de 0-30 cm. El primer muestreo exploratorio de suelos se realizó el 12 de febrero de 2003, el segundo muestreo en mayo de 2003, el tercer muestreo en junio de 2004, el cuarto muestreo se llevó a cabo en febrero de 2004 y finalmente el quinto muestreo en junio de 2004.

## **6.2. Variables biológicas del suelo**

La respiración microbiana se midió a una profundidad de 0-10 cm por la cuantificación de la producción de CO<sub>2</sub>, según el método establecido por Anderson (1982), por medio del cual se obtiene la cantidad de carbono mineralizado (C) por kg de suelo por día. El primer muestreo exploratorio se realizó en febrero de 2003 y el segundo muestreo en junio de 2003, un mes después de la incorporación del frijol dolichos.

## **6.3. Compactación del suelo**

Para medir esta variable se utilizó el penetrómetro de anillo CN-970, el cual se introdujo a tres profundidades: 0-15, 15-30, y 30-40 cm de profundidad. Los datos se registraron en el centro de cada unidad experimental. Se tomaron tres datos de resistencia a la penetración y se obtuvo un promedio en kg cm<sup>2</sup>. Los datos se convirtieron a la unidad internacional Megapascals (MPa). Para determinar los componentes principales de variables y tratamientos, los resultados obtenidos se analizaron y se graficaron con el paquete estadístico Multi Variate Statistical Package (MVSP) versión 3.13f.

El penetrómetro de anillo, de tipo cónico, que se utiliza para numerosas aplicaciones, entre las que destaca la rápida determinación de medidas de resistencia a la penetración del suelo, las relaciones en la capacidad del tráfico pueden ser obtenidas por una rápida evaluación de los sitios de campo. La correlación con la capacidad del soporte de anillo de pruebas puede ser establecida por el usuario. En conjunto con el laboratorio estándar y las pruebas de campo, el CN-970 ha sido probado como una



herramienta extremadamente útil en pruebas rápidas de campo y reduciendo el número de tiempo posible consumido en las pruebas estándar (ELE, 2002).

#### **6.4. Composición nutrimental y bromatológica de frijol dolichos**

La cosecha se realizó en junio de 2003, obteniéndose 55.44 ton ha<sup>-1</sup> de materia verde, en promedio. El material vegetal se colocó en bolsas de papel según el tratamiento y repetición; se tomaron cinco muestras al azar de cada tratamiento y se llevaron al laboratorio donde se pesaron; después, se introdujeron en la estufa a 70°C durante 48 horas. Posteriormente cada muestra se trituró con un molino eléctrico; procesándose inmediatamente después en un mortero y, por último, fueron pasadas por un tamiz de 1 mm. Por cada muestra se realizaron dos réplicas. Los resultados obtenidos se analizaron y se graficaron con el paquete estadístico Multi Variate Statistical Package (MVSP) versión 3.13f para determinar los componentes principales de variables y tratamientos.

##### **6.4.1. Composición nutrimental**

La composición nutrimental de la materia seca del frijol dolichos (Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Fierro, Manganeso, Zinc, Cobre y fósforo) se determinó por absorción atómica (Alcantar y Sandoval, 1999). El cloro y el nitrógeno en forma de nitratos se obtuvieron por cromatografía de iones (Marschner, 1986). El N total se determinó mediante la técnica de digestión Microkjeldahl (Alcantar y Sandoval, 1999). El Boro

se obtuvo por medio del método colorímetro de ácido curcúmico (Alcantar y Sandoval, 1999).

#### **6.4.2. Composición bromatológica**

Para la obtención de proteínas se utilizó la metodología de Kjeldhal; para lípidos el método de soxhlet y equipo soxtec; para fibra cruda el método de hidrólisis sucesiva y equipo fibretec 1020; y para cenizas se utilizaron diferencias de peso por la variación en la humedad (Official Methods of Analyses of AOAC International, 1995).

#### **6.5. Composición nutrimental de la albahaca (cultivo indicador)**

Para determinar el contenido nutrimental de la albahaca se utilizó la misma metodología (descrita en el apartado 6.3.1) para frijol dolichos.

#### **6.6. Análisis económico**

Para llevar a cabo la evaluación económica de sistemas de labranza e incorporación de abono verde en el cultivo de albahaca fue necesario determinar los costos de producción, los activos fijos y diferidos, así como el capital de trabajo, los gastos de administración y ventas, depreciaciones y amortizaciones. Para estimar cada uno fue necesario realizar algunos cálculos adicionales incluyendo los costos de producción; en este apartado fue necesario identificar el proceso de producción para determinar los gastos generados por cada actividad, por ejemplo el trasplante, la preparación de terreno, la siembra, la fertilización, los cortes, entre otros. Se tomaron en cuenta

también los costos de los activos fijos, para lo cual se contemplaron todos los activos que la empresa tiene que su desgaste o durabilidad sea mayor a un año, los cuales se determinaron en base a tres rubros: el terreno, la obra civil y la maquinaria y equipo. Otro parámetro utilizado consistió en los activos diferidos, los cuales se determinaron en base al costo del estudio y la asistencia técnica que se dará en el cultivo, asimismo como se consideró el alta de la empresa en las instancias gubernamentales correspondientes (Pedraza, 1999).

Los gastos de administración y ventas se determinaron con la finalidad de calcular los costos de papelería, teléfono, sueldo del administrador, agua y luz, entre otros. Los gastos de ventas son los que se generaron en el proceso de distribución del producto. Determinados los costos de producción y los gastos de administración y ventas se estableció el capital de trabajo, que es el dinero que el productor necesita para poner en marcha su producción. Finalmente, se evaluaron la amortización y depreciación ya que estos parámetros representan un porcentaje que el productor debe de recuperar cada año. Una vez identificados estos indicadores y obtenido el volumen de producción y el ingreso generado se calcularon el estado de resultados, flujos de efectivo y flujos netos de efectivo para así poder determinar la tasa interna de retorno (TIR) (Pedraza, 1999).

### **6.7. Análisis estadístico**

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para cada fecha de muestreo atendiendo según el modelo de parcelas divididas, con el fin de encontrar diferencias significativas en los efectos primarios y secundarios de los factores en estudio.

Posteriormente, se evaluó el efecto del tiempo (fechas) en los factores del experimento, realizando el ANOVA para series de experimentos (factores jerarquizantes) mediante el programa estadístico SAS 6.2. Asimismo, se incluyó una comparación de medias para el factor fechas, como una tercera fuente de variación en el modelo estadístico. Los datos de todas las variables se analizaron con el programa de computo CANOCO para Windows (versión 4.0) (Ter Brak and Smilauer P., 1998), utilizando para ello el análisis de correlación canónica. El CANOCO ha sido utilizado para el análisis de datos en ciencias ambientales, ecología, agricultura, entre otros, por ser una herramienta muy valiosa para obtener información multivariada de datos (Beltrán-Morales *et al.*, 2003). Las gráficas se elaboraron con el programa CANODRAW disponible en la versión 4 de CANOCO para Windows. Los resultados obtenidos para la compactación, contenido nutrimental y bromatológico de frijol dolichos y albahaca, así como los parámetros fenológicos, se analizaron y graficaron con el paquete estadístico Multi Variate Statistical Package (MVSP) versión 3.13f, analizando en base a componentes principales, ya que este método permite reducir la dimensionalidad del problema que se está estudiando al eliminar algunas variables si estas aportan poca información y remover la redundancia y el efecto aleatorio entre variables relacionadas (Valdez-Cepeda, 1997). La razón más importante para realizar un análisis de componentes principales es utilizarlo como herramienta para cribar los datos de variables múltiples. Se pueden crear nuevas variables, que se pueden usar como entradas para trazar nuevas gráficas y conjuntos de datos.

En el análisis de componentes principales (PCA) se usa un procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables respuesta correlacionadas en un nuevo grupo

de variables no correlacionadas conocidas como componentes principales. Al utilizar el PCA para cribar un conjunto de datos de variables múltiples, no es necesario que se puedan interpretar los componentes principales, por que el PCA es extremadamente útil sin importar si se pueden interpretar o no las nuevas variables. (Johnson, 1998).

## 7. RESULTADOS Y DISCUSION

### 7.1. Variables físicas y químicas del suelo

El análisis de varianza a nivel factorial y la serie de experimentos (Tabla 1) no muestran valores que indiquen diferencias significativas para los efectos primarios ni las interacciones; sin embargo, se muestran significancias para pH, P y K en el factor labranza. Asimismo, el factor incorporación tiene alta significancia en pH y K. Con respecto a las interacciones de los otros factores incluidos en el modelo estadístico, el análisis indicó diferencias altamente significativas en la fecha de muestreo para todas las variables de estudio. La significancia menor mostrada en los factores labranza e incorporación se debe a la heterogeneidad del suelo presentada. En este contexto, se han encontrado recomendaciones que indican que en este tipo de estudios de campo no es conveniente realizar análisis sujetos a un momento o espacio debido a los procesos de cambio en el suelo (Trangmar *et al.*, 1987), ya que la respuesta de los tratamientos depende de un alto número de factores, no solo aquellos considerados en el diseño experimental (Warren y Méndez, 1982).

Tabla 1. Cuadrados medios de los análisis de varianza (ANOVA) de sistemas de labranza e incorporación de frijol dolichos como abono verde, establecidos en bloques completos al azar con arreglo de parcelas divididas.

FV	GL	Cuadrado medio					
		MO	pH	P mg kg <sup>-1</sup>	NT	K mg kg <sup>-1</sup>	DA
FE	4	0.2453**	2.4563**	0.0355**	0.0000405**	2216.89**	0.147**
REP (FE)	10	0.1019**	0.0311*	0.0074	0.0000190**	90.95	0.007
LAB	2	0.0068	0.0670**	0.0192*	0.0000013	164.91*	0.015
FE*LAB	8	0.0308	0.0520**	0.0041	0.0000047	143.60**	0.047**
Ea	20	0.0296	0.0139	0.0089	0.0000051	62.72**	0.009
INC	1	0.0650	0.1130**	0.0003	0.0000082	341.17**	0.000
LAB*INC	2	0.0039	0.0037	0.0192*	0.0000007	59.47	0.004
FE*INC	4	0.0041	0.0399*	0.0025	0.0000005	88.09	0.024
Eb	8	0.0127	0.0262	0.0038	0.0000024	59.26	0.008

GL = grados de libertad, \*\*, \* = significancia estadística a los niveles de 0.01 y al 0.05, respectivamente. FV: fuente de variación, G.L.: grados de libertad, FE: fecha, LAB: labranza, FE\*LAB: fecha por labranza, Ea: Error a, INC: incorporación, LAB\*INC: labranza por incorporación, FE\*INC: fecha por incorporación, Eb: Error b MO: materia orgánica, pH: potencial hidrogeno, P: fósforo, NT: nitrógeno total, K: potasio, DA: densidad aparente.

En relación a lo anterior, Morkoc *et al.* (1985) señalaron que es aconsejable usar otras técnicas estadísticas de análisis, interpretación y estimación que tomen en cuenta la heterogeneidad en la parcela experimental.

Por otro lado, la escasa diferencia entre algunos de los factores en estudio se debe también a que los sistemas conservacionistas y la utilización de abonado verde generalmente necesitan varios años antes de inducir diferencias altamente

significativas en las características físicas y químicas del suelo (Thönnissen *et al.*, 2000a; Thönnissen *et al.*, 2000b; Bayer *et al.*, 2001).

Tomando como base el resultado del ANOVA, en la tabla 2 se presenta la comparación de medias para el factor fechas, observándose que el tercer muestreo, realizado dos meses después de la incorporación, presentó valores significativamente mayores para MO y los minerales N, P y K, indicando con ello que el contenido de MO y los mencionados macronutrientes se encontraban en general en menores concentraciones y, que dos meses después de la incorporación de abono verde, la concentración se incrementó significativamente. Se observó una tendencia en el aumento en el pH del suelo a medida que transcurrió el tiempo.

Tabla 2. Comparación de medias para las variables MO, pH, macronutrientes y DA con respecto a cinco fechas de muestreo en un experimento de sistemas de labranza e incorporación de frijol dolichos como abono verde.

Muestras (fechas)	MO		pH		P mg kg <sup>-1</sup>		% N		K mg kg <sup>-1</sup>		DA	
1	0.543	b	8.894	a	0.593	b	0.028	b	9.180	c	1.434	a
2	0.536	b	8.120	d	0.191	c	0.026	b	26.556	b	1.282	b
3	0.758	a	8.522	b	0.703	a	0.038	a	39.994	a	1.381	ab
4	0.543	b	8.250	c	0.426	b	0.028	b	22.004	b	1.498	a
5	0.441	b	7.953	d	0.528	b	0.021	b	27.479	b	1.497	a

Medias en la misma columna con distinta letra son diferentes estadísticamente, Tukey (P<0.05). MO: materia orgánica, pH: potencial hidrogeno, P: fósforo, NT: nitrógeno total, K: potasio, DA: densidad aparente.

La cantidad de abono verde aplicada al suelo fue en promedio de 49.98 t ha<sup>-1</sup>. La producción de materia seca del frijol dolichos fue de aproximadamente 6000 kg en



virtud de que cada 1000 kg de materia seca aportan de 15 a 40 kg de N ha<sup>-1</sup> es decir, con la incorporación de este abono verde se aportan al suelo hasta 240 kg de N mineral (Humphreys, 1995). En climas templados el aporte de N mediante la mineralización neta anual es de unos 45 a 150 kg ha<sup>-1</sup> en los primeros 30 cm del suelo, considerando la relación C/N que presenta el abono verde (Beltrán-Morales, 2003).

En el análisis de correspondencia canónica que se muestra en la Figura 7 se aprecia con mayor claridad el efecto de la incorporación del abono verde de frijol dolichos y su efecto positivo en el contenido de MO, N, P y K. Se observa el agrupamiento de los muestreos de suelos según el orden de muestreo donde el muestreo tres, el cual se realizó dos meses después de haber incorporado el abono verde de frijol dolichos, se ubicó en la sección positiva de los ejes canónicos.

La agrupación de los datos de esta misma figura con relación a los sistemas de labranza utilizados en este trabajo, sugiere que existe una estrecha relación positiva entre los sistemas de la labranza óptima (F3), labranza mínima (D3) y labranza convencional (B3) con respecto al contenido de MO y macronutrientes en el suelo, provenientes de la incorporación previa del abono verde. En este sentido, Fox y Bandel (1986) determinaron que una disminución de pasos de maquinaria para preparar el suelo, con el sistema de labranza mínima y labranza óptima, reduce las pérdidas de MO. En este contexto, Havlin *et al.* (1990) concluyeron que la mínima labranza incrementa la cantidad de residuos de cosecha sobre la superficie del suelo e incrementa la disponibilidad de N. Asimismo, Kitur *et al.* (1984) y Dick (1983) coinciden en que debido al incremento de MO en el suelo manejado con los sistemas

de labranza mínima y labranza óptima se promueve un mayor potencial de inmovilización y disponibilidad de N para las plantas.

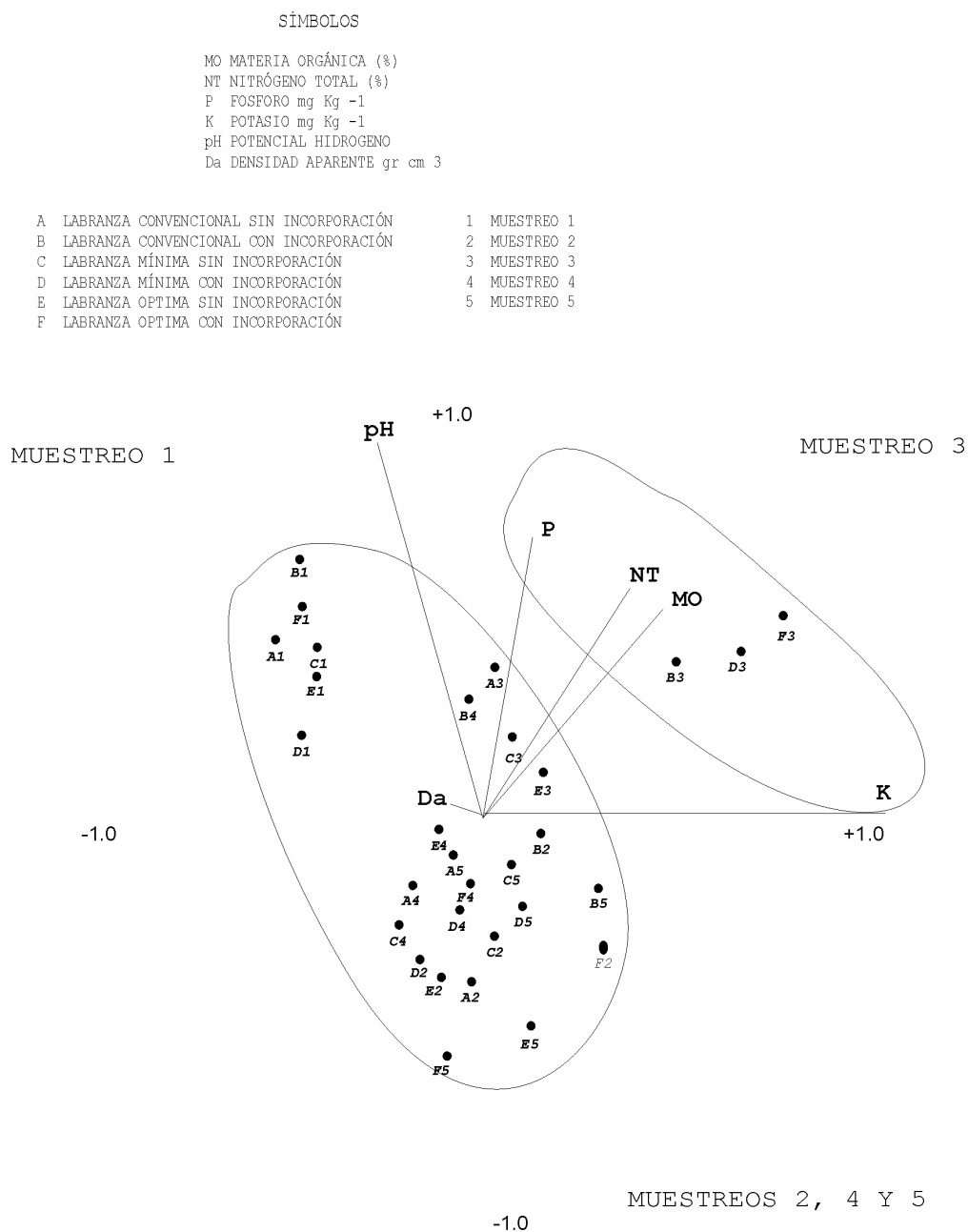


Fig. 7. Análisis de correlación canónica (ACC) para niveles de labranza e incorporación de abono verde.

## 7.2. Variables biológicas del suelo

Los análisis de varianza realizados para fechas de muestreo (análisis seriado y factores jerarquizantes) mostrados en la tabla 3, señalan una variación altamente significativa con respecto al contenido de C, MO, pH, N y K. El suelo con tratamientos de abono verde acrecentó su contenido de nutrimentos y su fertilidad, mostrando incrementos de  $0.11 \text{ mg P kg}^{-1}$ ,  $0.01\%$  de N y en  $30.814 \text{ mg K kg}^{-1}$ . En relación con la respiración del suelo obtenida a través de la mineralización del C, se observó un incremento de  $36\%$  en la actividad microbiana en el segundo muestreo. Este efecto no se observó en los factores labranza e incorporación de abono verde. Asimismo, este análisis no mostró diferencias respecto a las interacciones de los diversos factores incluidos en el modelo estadístico. Cabe mencionar que solo el contenido de K fue altamente significativo con respecto al tipo de labranza y la interacción labranza-incorporación. De acuerdo con Trangmar *et al.* (1987) y Valdez-Cepeda (1997) la observación de no significancia en los factores labranza e incorporación se explica por la gran heterogeneidad espacial presentada en este tipo de estudios donde el suelo es sujeto de estudio. Tal como se discutió en el apartado anterior, diversos autores (Trangmar *et al.*, 1987; Valdez-Cepeda, 1997) recomiendan realizar análisis multivariados en este tipo de investigaciones, ya que la respuesta de los tratamientos depende en gran parte de factores no considerados en el diseño experimental (Warren y Méndez, 1982). Las técnicas estadísticas que toman en cuenta la heterogeneidad en la parcela experimental son las recomendadas (Morkoc *et al.*, 1985).

Dado que la variación del suelo es de naturaleza continua y no discreta (Odeh *et al.*, 1992) y que las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo difieren espacialmente debido a la naturaleza dinámica del material de origen (Riha *et al.*, 1986), también es recomendable utilizar análisis multivariados para la correcta interpretación de resultados en estudios de campo en los cuales se considere la medición de la variabilidad (Johnson, 1998; Parkin *et al.*, 1990).

Tomando como base el resultado del ANOVA, se realizó una comparación de medias para el factor fechas (Tabla 3). En esta tabla se observa que el segundo muestreo, realizado dos meses después de la incorporación, mostró valores significativamente mayores para la cantidad de C mineralizado por kilogramo por día, el contenido porcentual de MO y los minerales N, P y K, indicando con ello que el contenido de C, MO y de los mencionados macronutrientes se encontraban en general en menores concentraciones y, que dos meses después de la incorporación de abono verde, la concentración se incrementó significativamente. Lo anterior coincide con la mayor parte de los estudios que se han realizado, los cuales indican que deben transcurrir al menos 60 días para propiciar la mineralización de los abonos orgánicos aplicados en terrenos en condiciones de riego (Murphy y Colucci, 1999). Con respecto a la respiración microbiana del suelo, ésta fue mayor después de la incorporación del abono verde (Tabla 3).

La producción de materia seca de frijol dolichos fue aproximadamente de  $6 \text{ t ha}^{-1}$  debido a que cada tonelada de materia seca puede aportar de 15 a  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, por lo que es posible inferir que, con la incorporación del abono verde en estudio se aportan al suelo hasta  $240 \text{ kg}$  de N mineral (Humphreys, 1995). En climas templados

el aporte de N mediante la mineralización neta anual es de unos 45 a 150 kg ha<sup>-1</sup> en los primeros 30 cm del suelo, considerando la relación C/N que presenta el abono verde (Beltrán-Morales, 2003). En el caso del N, el fenómeno se explica por el incremento en la velocidad de la pérdida de N mediante la incorporación de residuos de cosecha (Salazar-Sosa *et al.*, 2003a; Rice *et al.*, 1996; Eck y Jones, 1992). Por otro lado, entre las variables de suelo que de acuerdo a la comparación de medias (Tabla 4) no se presentaron tendencias definidas, destaca el caso de la densidad aparente, propiedad que es difícilmente sensible a la incorporación de MO y a la respiración microbiana del suelo, ya que se trata de una propiedad edáfica que depende en mayor grado de la textura que del contenido de MO y los nutrimentos minerales (Riha *et al.*, 1986). Las diferencias significativas para la mayoría de las características del suelo se manifiestan hasta después de varios ciclos de labranza, desde 5 hasta 15 años (Salazar-Sosa *et al.*, 2003a; Salazar-Sosa *et al.*, 2003b; Thönnissen *et al.*, 2000a; Thönnissen *et al.*, 2000b; Bayer *et al.*, 2001).

Con respecto al análisis de correlación canónica que se muestra en la Figura 8, se observa el efecto de la incorporación del abono verde de frijol dolichos y su relación positiva en el contenido de C mineralizado (kg día<sup>-1</sup>) MO y N total. Se aprecia también que el agrupamiento de los muestreos de suelos según el orden de muestreo. Claramente se observa que, el muestreo dos (el cual se realizó dos meses después de haber incorporado el abono verde) presenta un efecto positivo con relación a la incorporación de materia verde en el suelo, lo cual se demuestra con la agrupación de los datos en la sección positiva de los ejes canónicos (Fig. 8). En relación con lo anterior, la literatura indica que el efecto de los abonos verdes sobre la estructura del

suelo, actividad biológica y ciclo de los nutrimentos depende de la composición química, así como de la relación C/N, concentración de lignina y polifenoles, el tamaño de las partículas del suelo y del contacto del abono verde con el suelo (Nyborg *et al.* 1995). Los residuos de cultivos y los abonos verdes están siendo considerados por los científicos, extensionistas y las autoridades como una fuente vital natural para la conservación y la sustentabilidad de la productividad del suelo, representando la fuente principal de reposición de la MO del suelo (Walters *et al.*, 1992).

Los residuos de cultivos han mostrado proveer los nutrimentos esenciales para la mayoría de las especies de plantas (Walters *et al.*, 1992). Nyborg *et al.* (1995) han señalado que además de mejorar la condición física y biológica del suelo, la incorporación de residuos puede prevenir por completo su degradación. Humpheys (1995) mencionó que la utilización de frijol dolichos como abono verde conserva la fertilidad del suelo, promoviendo también la fijación biológica de N enriqueciendo el suelo de una manera ambientalmente limpia.

Tabla 3. Cuadrados medios de los análisis seriados de experimentos (ANOVA) de experimentos establecidos en bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas.

FV	GL	Cuadrado medio del análisis de varianza						
		C	MO	pH	P	N	K	DA
FE	1	1491.50**	0.4160**	1.2469**	0.0425	0.000070**	8545.76**	0.0256
REP(FE)	4	186.47	0.0166	0.0113	0.0050	0.000002	125.399	0.0089
LAB	2	0.6497	0.0176	0.0798	0.0039	0.000003	332.868**	0.1018**
FE*LAB	2	27.553	0.0023	0.0416	0.0008	0.0000003	332.868**	0.0793*
REP*LAB*(FE)	8	45.634	0.0287	0.0258	0.0103	0.000004	61.1374	0.0091
INC	1	34.300	0.0506*	0.2085**	0.0001	0.000006	293.893**	0.0049
LAB*INC	2	107.95	0.0151	0.0253	0.0117	0.000003	43.6750**	0.0081
FE*INC	1	5.840	0.0056	0.0361	0.0008	0.0000003	274.344**	0.0386
FE*LAB*INC	2	112.069	0.0004	0.0020	0.0077	0.00000006	51.0053*	0.0008

GL = grados de libertad, \*\*, \* = significancia estadística a los niveles de 0.01 y al 0.05, respectivamente. FV: fuente de variación, FE: fecha, LAB: labranza, FE\*LAB: fecha por labranza, INC: incorporación, LAB\*INC: labranza por incorporación, FE\*INC: fecha por incorporación, FE\*LAB\*INC: fecha por labranza por incorporación, C: carbono, MO: materia orgánica, pH: potencial hidrogeno, P: fósforo, NT: nitrógeno total, K: potasio, DA: densidad aparente.

La agrupación de datos que se muestra en la Figura 8, con relación a la respiración del suelo y a la incorporación de materia verde, proporciona evidencias de una estrecha relación positiva entre la incorporación de materia verde en el segundo muestreo; al mismo tiempo, no se aprecian diferencias entre los sistemas de labranza utilizados en este experimento. Con respecto al contenido de C mineralizado, al contenido porcentual de MO y macronutrientes en el suelo, Fox y Bandel (1986) determinaron que una disminución de pasos de maquinaria para preparar el suelo, con el sistema de labranza mínima y labranza cero, reduce las pérdidas de MO e incrementa la actividad microbiana. En este contexto Havlin *et al.* (1990)

concluyeron que la labranza mínima incrementa la cantidad de residuos de cosecha sobre la superficie del suelo e incrementa la disponibilidad de N. En este contexto, Kitur *et al.* (1984) y Dick (1983) coincidieron que el incremento de la MO en el suelo, con los sistemas de labranza mínima y labranza cero, promueve un mayor potencial de inmovilización y una mayor disponibilidad del N para las plantas.

Tabla 4. Comparación de medias para las variables en estudio con respecto a las fechas de muestreo e incorporación de abono verde.

Tratamiento	% MO		pH		P mg kg <sup>-1</sup>		% NT		K mg kg <sup>-1</sup>		DA	C kg día <sup>-1</sup>		
Fecha de muestreo														
1	0.543	b	8.894	a	0.441	a	0.027	a	9.18	b	1.43	a	16.50	b
2	0.663	a	8.670	b	0.585	a	0.031	a	21.82	a	1.44	a	22.54	a
Incorporación														
Con incorporación	0.68	a	8.63	b	0.56	a	0.034	a	21.73	a	1.39	a	23.92	a
Sin incorporación	0.51	b	8.93	a	0.46	a	0.024	a	9.27	b	1.47	a	15.12	a

Valores con la misma literal en columna indican igualdad estadística DMS Tukey ( $P \leq 0.05$ ). C: carbono, MO: materia orgánica, pH: potencial hidrogeno, P: fósforo, NT: nitrógeno total, K: potasio, DA: densidad aparente.



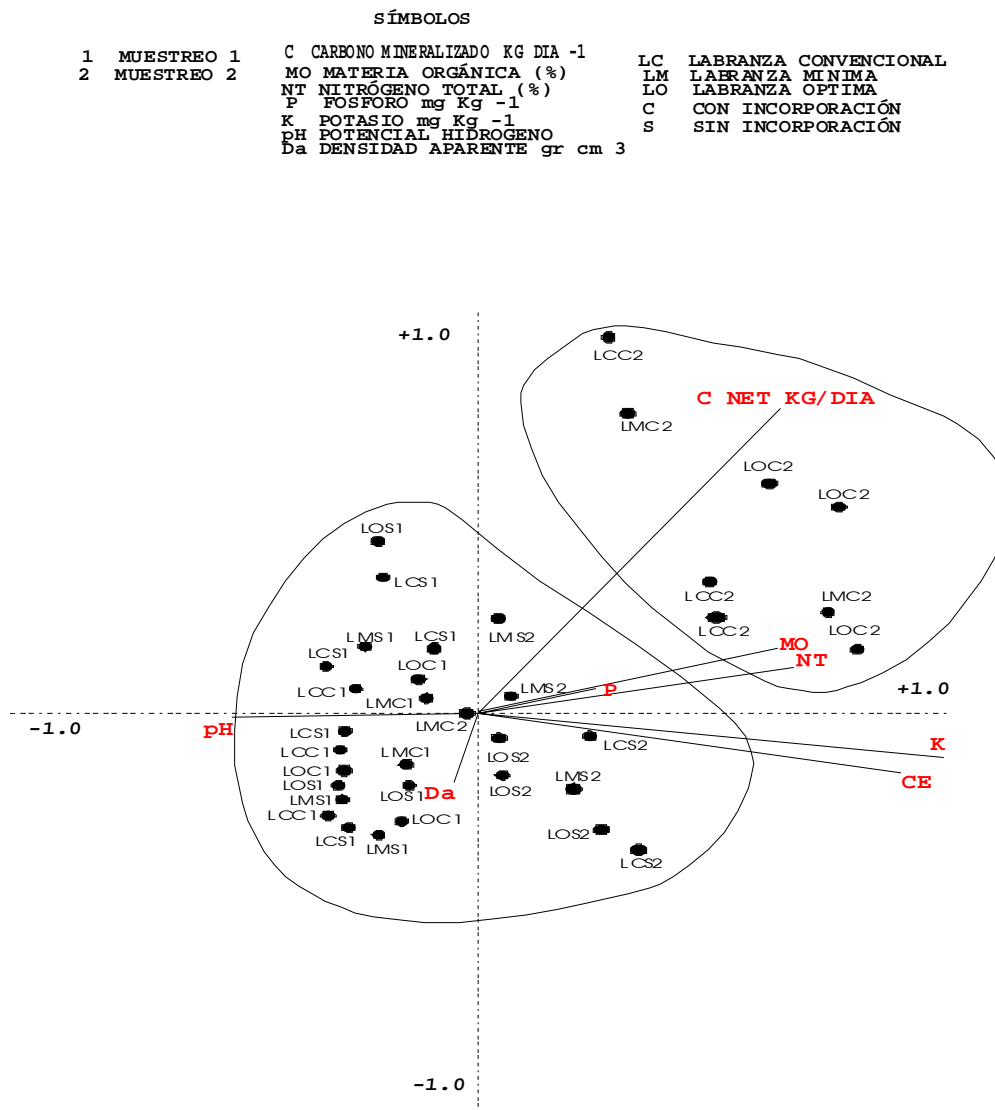


Fig. 8. Análisis de correlación canónica (ACC) para niveles de mineralización de C en  $\text{kg día}^{-1}$ , sistemas de labranza e incorporación de abono verde.

### 7.3. Compactación de suelo

Los muestreos de la resistencia a la penetración se realizaron paralelamente al muestreo de humedad del suelo después de la aplicación del riego, cuando los valores se encontraban próximos a capacidad de campo, para evitar que las diferencias de la resistencia a la penetración no se atribuyeran a las diferencias en el contenido de humedad del suelo. Las Tablas 5 y 6 muestran que la mayor compactación del suelo se encontró a una profundidad de 30-40 cm sin importar el sistema de labranza utilizado; sin embargo, los valores mayores se presentaron en el caso de la labranza mínima sin incorporación de materia verde, seguido por la labranza convencional sin incorporación en las tres profundidades evaluadas, posteriormente labranza óptima con y sin incorporación y por último labranza convencional con incorporación. Los índices de compactación se incrementaron conforme la profundidad del suelo, sin importar el sistema de labranza utilizado; en este sentido, existen reportes que indican que la restricción del crecimiento de la raíz se presenta con valores mayores de 3 MPa (Bravo y Andreu, 1995).

Tabla 5. Resultados promedio de compactación de suelo (MPa) en la primera fecha de muestreo.

Profundidad cm	LMC	LMS	LOC	LOS	LCC	LCS
0-15	2.78	3.76	2.81	3.07	2.55	3.01
15-30	5.23	8.27	3.96	4.90	5.13	8.40
30-40	7.94	9.71	4.61	5.20	5.72	8.92

LMC: labranza mínima con incorporación, LMS: labranza mínima sin incorporación, LOC: labranza óptima con incorporación, LOS: labranza óptima sin incorporación, LCC: labranza convencional con incorporación, LCS: labranza convencional sin incorporación.

Al comparar las fechas de muestreo, el análisis de varianza (Tabla 7) arrojó diferencias altamente significativas a una profundidad 0-15cm con respecto a la fuente de variación fechas de muestreo. Con relación a las diferencias estadísticas encontradas según el sistema de labranza utilizado y al efecto de la incorporación de abono verde sobre la compactación del suelo, así como la interacción fecha de muestreo y sistema de labranza, se encontró significancia estadística a la profundidad 15-30 cm. Lo anterior se explica debido a que la labranza mínima o reducida se realiza a través de un paso de rastra (para incorporar residuos) a una profundidad que oscila entre 15 y 20 cm. Además, la presencia de residuos orgánicos posee un efecto protector frente a la compactación del suelo, ya que la fracción orgánica ligada a la MO adquiere una mayor importancia debido a que aumenta la porosidad, modificando el comportamiento global de los suelos frente a la compactación (Pecorari *et al.*, 1993).

Tabla 6. Resultados promedio de compactación de suelo (MPa) en la segunda fecha de muestreo.

Profundidad cm	LMC	LMS	LOC	LOS	LCC	LCS
0-15	1.18	1.18	2.62	1.47	1.73	1.18
15-30	6.34	8.40	6.54	5.95	3.11	2.75
30-40	7.62	8.56	7.40	6.24	4.22	2.97

LMC: labranza mínima con incorporación, LMS: labranza mínima sin incorporación, LOC: labranza óptima con incorporación, LOS: labranza óptima sin incorporación, LCC: labranza convencional con incorporación, LCS: labranza convencional sin incorporación.

En la Figura 9 se puede observar la agrupación gráfica de los componentes principales con respecto al comportamiento de la compactación del suelo. Una interpretación simple con relación a la multidimensionalidad del estudio (Jonson, 1998) señala que, en el caso de los tratamientos, todos aquellos localizados cerca del origen representaron un ambiente similar para las plantas y variables en estudio, o bien que su variabilidad está localizada en otra dimensión (De la Vega *et al.*, 2001). Los tratamientos agrupados cercanamente en un mismo cuadrante son similares en conjunto, mientras los que están separados son ambientes diferentes en conjunto (Kroonenberg, 1997). Para un objetivo en particular, los tratamientos pueden ser comparados proyectando una perpendicular desde los símbolos de cada variable; por ejemplo, los tratamientos que se encuentran agrupados en el mismo sector del vector de la variable 0-15 presentan un mayor grado de compactación y viceversa (De la Vega *et al.*, 2001). Para el caso de las variables (compactación a diferentes profundidades), éstas se explican correctamente con los dos primeros componentes principales. Asimismo, la profundidad 0-15 presenta una correlación positiva y cercana al eje del componente principal 1, mientras que las profundidades 15-30 y 30-40cm presentan una correlación positiva y muy cercana al eje del componente principal 2, siendo aún más cercana la distancia euclidiana entre la profundidad 15-30 y el eje del componente principal 2. Dado que el coseno del ángulo entre dos vectores de variables señala el grado de correlación, se establece una similitud significativa en las profundidades de 15-30 y 30-40cm. A su vez, el vector más lejano de la profundidad de 0-15 lo presenta la profundidad de 30-40 cm. En este sentido el mayor índice de compactación a una profundidad de 0-15cm se presentó en la primer fecha

de muestreo, principalmente en los sistemas de labranza óptima y labranza mínima, pues los índices de compactación observados en el cuadrante positivo de la figura 9, contrastan con los del cuadrante negativo, donde se puede observar la agrupación mayoritaria de datos obtenidos con el segundo muestreo. La resistencia a la penetración disminuye debido al reacomodo de los agregados del suelo, a la presencia de materia orgánica y a la continuidad porosa que se establece tal como lo señala Mora (2001). Asimismo, se puede apreciar que la compactación del suelo con relación a las profundidades 15-30 y 30-40 cm es mayor en la segunda fecha de muestreo con respecto a la primera, esto se debe a que valores de resistencia de suelo a la penetración mayores a 30 cm de profundidad podrían indicar que la capa denominada piso de arado se detecta más claramente en labranza óptima y labranza mínima por no haber paso de arado que pudiera romper dicha capa de suelo.

Tabla 7. Cuadrados medios de los análisis de varianza (ANOVA) de experimentos establecidos en bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas.

FV	GL	Cuadrado medio del análisis de varianza		
		0-15cm	15-30cm	30-40cm
FE	1	18.5617**	1.9787	26.9880
REP(FE)	4	1.4945	2.7315	83.7670
LAB	2	0.4458	16.2784*	57.7655
FE*LAB	2	1.09538	26.6944**	148.0921
REP*LAB*(FE)	8	1.6598	5.7586	71.3088
INC	1	.00002	17.5281*	32.3192
LAB*INC	2	0.6570	4.2210	84.6544
FE*INC	1	2.8843	9.4249	126.4500
FE*LAB*INC	2	0.0435	1.4616	55.6922

GL = grados de libertad, \*\*, \* = significancia estadística a los niveles de 0.01 y al 0.05, respectivamente. FV: fuente de variación, FE: fecha, LAB: labranza, FE\*LAB: fecha por labranza, INC: incorporación, LAB\*INC: labranza por incorporación, FE\*INC: fecha por incorporación, FE\*LAB\*INC: fecha por labranza por incorporación.

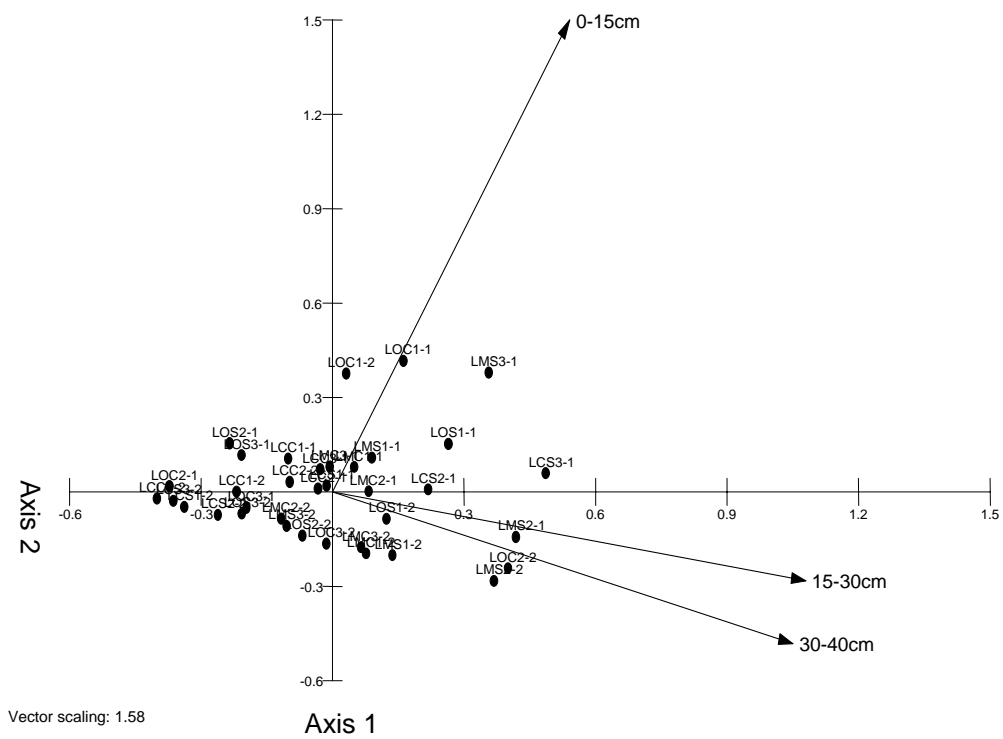


Fig. 9. Componentes principales del efecto de tres sistemas de labranza e incorporación de abono verde en la compactación a tres profundidades de suelo.

#### 7.4. Composición nutrimental de frijol dolichos

En la tabla 8 se distingue la aportación de cada uno de los nutrimentos, donde el N el K y el Ca, con 366.47, 235.37 y 212.81 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, mostraron el mayor aporte de nutrimentos al suelo. El aporte de cada nutriente se obtuvo al multiplicar la cantidad de materia seca obtenida en el presente trabajo (13000 kg ha<sup>-1</sup>) por la concentración (en porcentaje) de cada nutrimento, asumiendo que se obtiene 26% de materia seca de frijol dolichos.

Tabla 8. Aportación de nutrimentos en kg ha.<sup>-1</sup>

Nutrimento	Aportación nutricional kg ha <sup>-1</sup>
Ca	212.81
Mg	75.53
K	235.37
Na	124.41
Fe	16.91
Mn	2.35
Zn	0.39
Cu	0.39
P	36.47
Cl	209.86
NO <sub>3</sub> -N	2.13
N	366.47
B	2.64



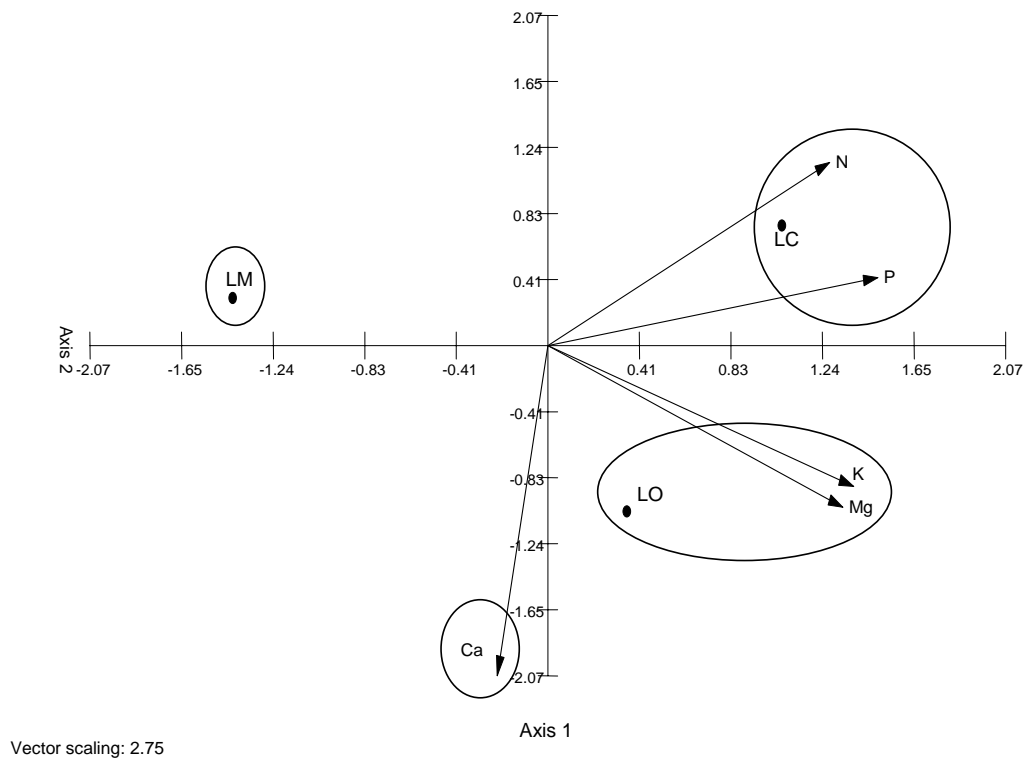


Fig. 10. Componentes principales del contenido nutrimental del frijol dolichos y su relación con el efecto de tres sistemas de labranza.

En la figura 10 se observa la agrupación de los componentes principales con respecto al contenido nutrimental del frijol dolichos y a la influencia de los sistemas de labranza. Según Kroonenberg (1997), los tratamientos agrupados cercanamente en el mismo cuadrante son similares en conjunto. Por ejemplo, el sistema de labranza

convencional tiene una correlación directa con las variables nutrimentales N y P, ya que estas se agrupan en el mismo sector del plano ortogonal. De acuerdo con García-Hernández et al. (2005), ésta correlación indica una interacción positiva entre los elementos N y P. En el sector opuesto del plano ortogonal se posiciona el nutrimento Ca, el cual se encuentra muy cercano al eje del componente principal 1; por consiguiente, N y P pudieran interactuar negativamente con el Ca. Una de las interacciones negativas pudiera ser N-Ca, misma que ha sido encontrada con diferentes especies en suelos de origen calcáreo similares a los del presente estudio. Esta interacción negativa fue encontrada en frijol yorimón por García-Hernández et al. (2005) y, en maíz por Dara et al. (1992) y Magallanes-Quintanar et al. (2006).

En la figura antes mencionada se puede observar que existe una correlación directa de los nutrimentos Mg y K con el sistema de labranza óptima, pues se localizan agrupados en un mismo sector del plano ortogonal definido por los dos primeros componentes principales. En el sector opuesto se puede notar la posición del tratamiento de labranza mínima, es decir, es posible una correlación negativa de este sistema de labranza con los nutrimentos Mg y K.

### **7.5. Composición nutrimental de la albahaca (cultivo indicador)**

En la Tabla 9 se presentan los valores promedio para la concentración promedio de cada nutrimento durante el ciclo de crecimiento de las plantas. El nutrimento que más concentraron las plantas fue el K, seguido en orden decreciente por el N, Ca, Mg y por último el P. La absorción de K fue de  $4.22 \text{ g planta}^{-1}$ . Luego en orden decreciente le siguieron el N con 3.19, el Ca con 2.59, el Mg con  $0.81 \text{ g planta}^{-1}$  y el P con 0.39.

Estos resultados coinciden con los valores mencionados por Bertsch (2003), quien a su vez menciona que la relación aproximada de extracción máxima de nutrimentos en las plantas, ocurre en promedio en el orden  $N:P_2O_5:K_2O:MgO:SO_4:CaO$ , lo cual sería equivalente a las proporciones 6:3:10:1:2:1, respectivamente. Asimismo, Bertsch (2003) estableció que del suelo la planta absorbe como elementos mayores, esto es, en grandes cantidades, el N y el K; aunque el P generalmente se incluye dentro de este grupo de nutrimentos mayores porque se aplica en grandes cantidades, no es en realidad consumido por la planta en grandes cantidades, sino que su uso a partir del suelo resulta muy ineficiente. El N puede ser fijado biológicamente a partir de la atmósfera por algunas bacterias que se asocian a las plantas. Elementos medios se consideran el Ca y Mg.

Se observa en la Tabla 9 que no existe diferencia significativa entre los tratamientos estudiados con respecto a las características químicas del suelo y la nutrición de las plantas, debido a que con la utilización del abono verde solo se presentó un incremento numérico no significativo del contenido de nutrimentos asimilables y el contenido de cationes canjeables. Sin embargo, la concentración foliar de N, K y P se incrementó con la utilización del abono verde.

El aumento de los contenidos de dichos elementos en el suelo posiblemente se debe al efecto conocido del abono verde en el aporte, reciclaje y movilización de nutrimentos en particular de formas estables de P y K, convirtiéndolos en formas asimilables para las plantas. Los abonos verdes ayudan de igual forma a la formación de ácidos orgánicos fundamentales en el proceso de solubilización de los minerales del suelo (Senaratne y Hardarson, 1988).

Tal como se observa en la Fig. 11, existe una correlación positiva del sistema de labranza convencional con los nutrientes N y Mg. El sistema de labranza óptima se correlaciona positivamente con los nutrientes P y Ca. Posiblemente, este sistema de labranza y dichos nutrientes se correlacionan negativamente con el contenido de K, pues se ubica en el sector opuesto del plano ortogonal. Sin embargo, el K se asocia positivamente con el sistema de labranza mínima.

El incremento en la absorción de nutrientes cuando se incorporó el abono verde es posible que se deba al desarrollo de un mejor y más profundo crecimiento radical, lo cual es resultado de la mejora de las propiedades físicas a los incrementos de los procesos de mineralización y a la liberación de sustancias promotoras del crecimiento así como a la reducción de sustancias fitotóxicas cuando se incorporan las leguminosas como abonos verdes (Senaratne y Hardarson, 1988).

Los resultados del presente estudio coinciden con los reportados por Sharma y Gosh (2000), quienes indicaron que con la incorporación de *Sesbania cannabina* como precedente de la papa se logró incrementar los rendimientos del tubérculo en 51 q ha<sup>-1</sup> y que estos incrementos fueron equivalentes a 35 kg ha<sup>-1</sup> en unidad de fertilizante. También se incrementó el rendimiento del trigo en 80 kg ha<sup>-1</sup> cuando se aplicaron abonos verdes al cultivo de la papa.

Tabla 9. Comparación de valores promedio porcentuales para las variables en estudio con respecto al contenido nutrimental.

Labranza	N	P	K	Ca	Mg
LM	2.941 a	0.381 b	4.493 a	2.92 b	0.775 a
LO	3.120 a	0.388 b	3.818 b	3.00 a	0.691 b
LC	3.110 a	0.449 a	4.160 a	4.03 a	0.888 a
Tratamiento					
CON	3.1969 a	0.484 a	4.3865 a	5.07 a	1.020 a
SIN	2.9178 b	0.415 b	3.9177 b	3.00 b	0.757 b

Valores con la misma literal en columna indican igualdad estadística DMS Tukey ( $P \leq 0.05$ ) LM: labranza mínima, LO: labranza óptima, LC: labranza convencional, CON: con incorporación, SIN: sin incorporación, N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio.

Los resultados obtenidos coinciden también con lo indicado por Chen y Aviad (1990), quienes encontraron incrementos en el rendimiento de trigo en 35% con la aplicación combinada del abono verde y el fertilizante mineral. De acuerdo con estos autores, tal comportamiento se debe a la mejora de las características del suelo y al suministro de nutrimentos cuando se incorpora el abono verde.

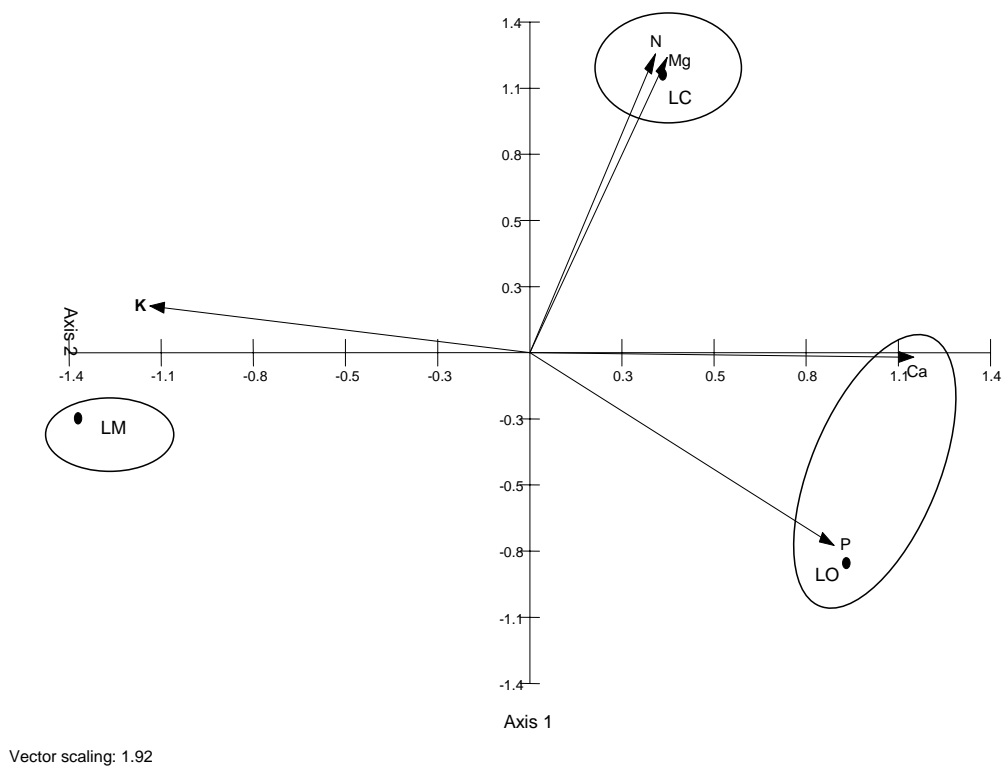


Fig. 11. Componentes principales del contenido nutrimental de albahaca y su relación con el efecto de tres sistemas de labranza.

Asimismo, Sharma y Gosh (2000) concluyeron que el abono verde no solamente suministra N sino que incrementa la eficiencia del aplicado. Estos autores señalan que el efecto se debe a la acción conjunta del abono verde en la mejora de las características del suelo y al suministro de nutrimentos, dando lugar a un mayor y más profundo

crecimiento radical realizando las plantas mayor absorción de N del suelo y del suministrado al suelo.

Resultados similares a los obtenidos en el presente trabajo fueron conseguidos por Becker *et al.* (1995) en el cultivo del arroz quienes encontraron que hasta 75 kg de N ha<sup>-1</sup> es la cantidad precisa para que el N del abono verde sea utilizado más eficientemente que el aplicado en forma de N-urea.

### **7.6 Composición bromatológica de frijol dolichos**

El contenido promedio de proteína cruda de la planta completa de frijol dolichos es de 17% con un intervalo del 10 a 22% en materia seca. El rango del valor de la proteína encontrada en hoja es de 14.3 a 38.5%, mientras que la proteína cruda encontrada en el tallo fluctúa de 7 a 21%. En la Figura 12 se observa una estrecha correlación del sistema de labranza convencional con el contenido de proteína del frijol dolichos; esto posiblemente se debe a que con este sistema de labranza se induce el mayor contenido de N, el cual forma parte esencial en la composición bioquímica de las proteínas (Beltrán-Morales, 2003). El sistema de labranza óptima se correlaciona positivamente con el contenido de lípidos y cenizas. Asimismo, se observa una correlación también positiva entre el sistema de labranza mínima con el porcentaje de fibra. Se ha demostrado que las leguminosas pueden proteger el tracto digestivo para la digestión ruminal y proveen al animal con altas fuentes de proteína. El frijol dolichos no contiene taninos lo que provoca que la digestibilidad de la proteína contenida en el forraje sea potencialmente absorbida por el tracto digestivo (Norton y Poppi, 1995).

El contenido de fibra detergente ácida fue de 36.8% basado en análisis de materia seca del follaje de frijol dolichos. Los valores del contenido de fibra de un forraje no necesariamente indican la calidad de la planta (Norton y Poppi, 1995). Otro aspecto que debe de tomarse en consideración para determinar la digestibilidad del forraje es el contenido de pectinas, que son células lignificadas que formarán parte de la dureza de las paredes celulares y son responsables de su dureza. La mayor diferencia entre los pastos y las leguminosas es que éstas últimas contienen una mayor cantidad de lignina que los pastos, los cuales poseen solamente los tejidos vasculares del xilema lignificados; lo anterior significa que la lignina se distribuye en todos los tejidos de la planta y se localiza en las paredes celulares de diferentes tipos de células. El contenido de fibra de la hoja es menor que el nivel de fibra reportado en plantas completas, es por eso que cuando los animales se alimentan en el campo prefieren la biomasa de las hojas (Wilson, 1993).

En general, las leguminosas presentan valores mayores en contenido de lignina, fibra y proteína que los pastos. Las propiedades bromatológicas del frijol dolichos lo sitúan como una especie con alto potencial forrajero para el ganado, ya que su contenido de fibra, proteína cruda y digestibilidad es mayor que la mayoría de las leguminosas utilizadas para este fin. Además, se ha demostrado que el frijol dolichos es poco susceptible a plagas y enfermedad comparada con otras leguminosas y pastos; también es más tolerante al frío y a la sequía ya que se mantiene verde por mayores periodos que la mayoría de los forrajes (Harricharan *et al.*, 1988). Con base en las características anteriores, el frijol dolichos puede considerarse como un recurso con gran potencial forrajero para alimentar al ganado vacuno (Poppi y McLennan, 1995).



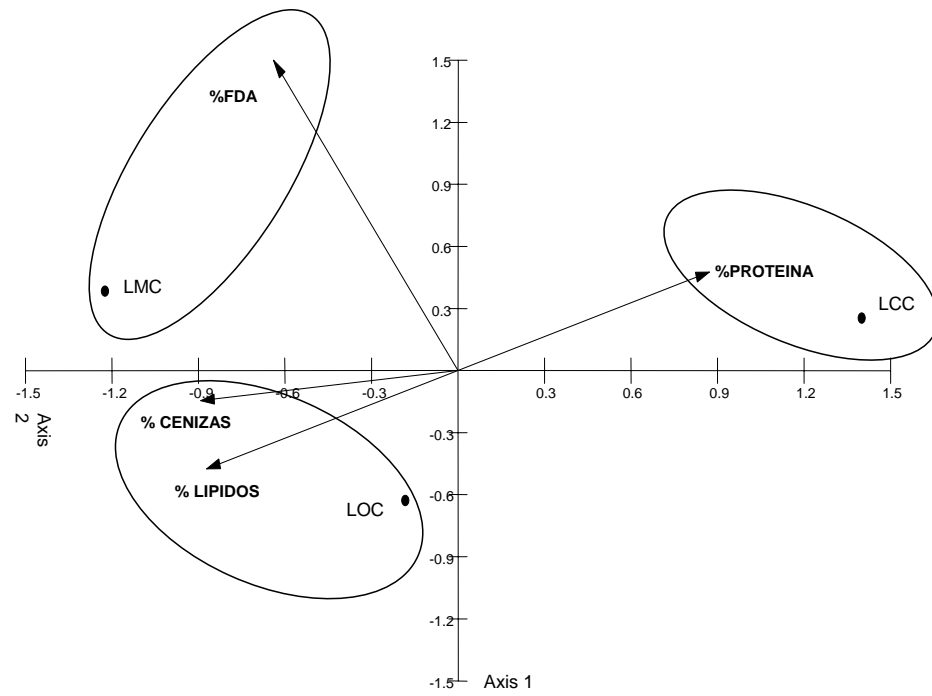


Fig. 12. Representación grafica de la composición bromatológica de frijol dolichos mediante el análisis de componentes principales.

## **8. Análisis económico**

Al realizar el análisis económico de la incorporación del abono verde, se tomaron en cuenta conceptos como el costo de la semilla, labores culturales, preparación del suelo, siembra y costo del agua, representando una erogación aproximada de \$660 (seiscientos sesenta pesos 00/MN) por ha. Por otra parte, la aplicación de fuentes sintéticas de fertilizantes representan un costo de alrededor de \$1,100 (mil cien pesos 00/MN) por ha, incluyendo aspectos como el costo del fertilizante y la mano de obra por aplicación. Lo anterior indica que el uso del abono verde con relación a la aplicación de fertilizantes sintéticos es aproximadamente 36% más barato económicamente, sin considerar que los beneficios ambientales y edáficos que genera el uso de abonos verdes. Con respecto a rendimiento y evaluación económica, el mejor sistema fue el sistema de labranza mínima con incorporación de abono verde con una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 75.14% (Tabla 10). Dichos resultados son similares a la TIR reportada para el cultivo de albahaca que se produce en Colombia el cual tiene una TIR de 95% (SAGARPA, 2004).

Tabla 10. Concentrado de datos del análisis económico de la producción de albahaca mediante tres sistemas de labranza e incorporación de frijol dolichos como abono verde en condiciones de aridez.

SISTEMAS DE LABRANZA	RENDIMIENTO kg ha <sup>-1</sup>	INGRESOS	EGRESOS	C/B	UTILIDAD NETA	TIR
LMSI	5,861	410,270,00	13,937,90	29,44	279,777,14	41.52%
LMCI	9,109	637,630,00	14,597,90	43,68	483,213,14	75.14%
LOCI	8,008	560,560,00	14,597,90	38,40	415,200,14	63.79%
LOSI	5,885	432,600,00	13,937,90	31,04	301,224,14	45.70%
LCCI	8,498	594,860,00	15,218,69	39,09	431,971,36	30.75%
LCSI	6,180	432,600,00	14,558,69	29,71	287,125,36	17.61%

Donde: LMSI=Labranza mínima sin incorporación de abono verde, LMCI=Labranza mínima con incorporación de abono verde, LOCI=Labranza optima con incorporación de abono verde, LOSI=Labranza optima sin incorporación de abono verde, LCCI=Labranza convencional con incorporación de abono verde, LCSI=Labranza convencional sin incorporación de abono verde, TIR= Tasa interna de retorno, C/B=Relación costo-beneficio.

## 9. CONCLUSIONES

La MO en el suelo mostró una recuperación significativa después de la incorporación del abono verde, con un incremento de 0.21% al tercer muestreo; lo anterior equivale a un incremento neto de una cuarta parte en el contenido promedio de MO en los suelos de la zona árida en estudio. En este sentido, resulta evidente la utilidad del frijol dolichos como aportante de MO con los consecuentes efectos positivos en la estructura del suelo.

El suelo con tratamientos de abono verde incrementó su contenido de nutrimentos y su fertilidad, mostrando incrementos de 0.11 mg P kg<sup>-1</sup>, 0.01% de N y en 30.814 mg de K kg<sup>-1</sup>. En virtud de la deficiencia normal de MO en el suelo del área de estudio, los incrementos mostrados por los tratamientos con incorporación de abono verde resultan ser importantes para este tipo de suelos. Se concluye que en un suelo yermosol haplico de zona árida, las leguminosas pueden ser usadas como aportantes de MO. La incorporación de frijol dolichos como abono verde en dosis de 6 t de materia seca implica un aporte de 240 kg N ha<sup>-1</sup> al suelo. Lo anterior confirma observaciones previas que establecen la potencialidad de dicha leguminosa como abono verde para incorporar de 120 a 160 kg N ha<sup>-1</sup> a los 160 días de establecida.

Se confirmó que el análisis de correlación canónica conjuntamente con el análisis de componentes principales es una herramienta apropiada para discernir los efectos significativos en estudios de alta heterogeneidad como son los estudios de suelo. El análisis económico reflejó una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 75.14% en el sistema de labranza reducida o mínima con incorporación de abono verde, en

comparación con una TIR de 17.61% en el sistema de labranza convencional sin incorporación de abono verde. Este resultado económico y con base en los resultados de la fase experimental, se concluye que el uso del frijol dolichos y de sistemas alternativos de labranza que tienden a mejorar la fertilidad del suelo y a conservar su humedad son una opción viable para los productores agrícolas de zonas áridas, especialmente considerando que esta leguminosa logra germinar y establecerse en el suelo con 10 mm de lámina de riego.

La respiración microbiana del suelo, basada en la producción de CO<sub>2</sub> fue superior en un 36% después de la incorporación del abono verde, con respecto al primer muestreo. En ese sentido, es evidente la potencialidad del frijol dolichos como promotor de la actividad microbiana en sistemas conservacionistas en suelos de zonas áridas.

El frijol dolichos presenta una amplia gama de adaptación en diversas condiciones agroecológicas. Es una especie tolerante a condiciones de escasez de agua y baja fertilidad de los suelos.

El potencial de esta especie se fundamenta en el hecho de ser una planta semiperenne (2-3 años), de hábito indeterminado, rápido crecimiento y por tener una fructificación que se mantiene durante casi todo el año.

En un sistema de agricultura de bajos insumos es posible utilizar los abonos verdes como una vía económicamente viable para sustituir las necesidades parciales o totales de los fertilizantes minerales nitrogenados en cultivos orgánicos. En esta investigación se comprobó que la asimilación de nutrientes por parte del cultivo indicador

corresponde al aporte nutrimental de la materia seca del frijol dolichos al incorporarse al suelo.

Se demostró la superioridad del sistema de labranza reducida incorporando abono verde sobre cultivo convencional, lo cual ha sido probado bajo una variedad de condiciones en todo el mundo. Es necesario desarrollar y adaptar el sistema localmente y asegurar que la tecnología funcione bajo las condiciones ambientales y socio-económicas propias de cada lugar específico. Asimismo, es importante determinar la clase de suelos que no son apropiados o presentan limitaciones para aplicar el sistema propuesto y de qué manera se pueden superar estas limitaciones.

## 10. LITERATURA REVISADA

- Agostini, F., E. Sparvoli y De Siena C. 2003. Improving the physical properties of soil from the Biancana Badlands, Tuscany, Italy, by the use of amendment materials. *Soil Use and Management* 19:270-272.
- Alcántar, G.G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de La Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Almeida, F.S. 1985. Influência da cobertura morta do plantio direto na biología do solo. En: *Atualização em plantio direto*. Fancelli, A.L.; Tonado, P.V. & Machado, J. Campinas, Fundação Cargill. Capítulo 6, pp.103-144.
- Altieri, A. M. 1999. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Nordan Comunidad Editores. Uruguay.
- Álvarez, R.J., Díaz G.J. y López N. J. 2005. Agricultura orgánica vs agricultura moderna como factores en la salud publica. División Académica de Ciencias Agropecuarias. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. México.
- Aloyokhin, A. y R. Atildan. 2005. Reduced fitness of the Colorado potato beetle (Coleoptera: Chrysomelidae) on potato plants grown in manure-amended soil. *Environ. Entomol.* 34(4):963-968.
- Álvarez, M., García M. y Trejo E. 1995. Los abonos verdes: Una alternativa natural y económica para la agricultura. *Cultivos tropicales* 16(3):9-24. Cuba.
- Amado, T.J.C. y Wildner, L. do P. 1991. Adubação verde. En: *Manual de Uso, Manejo e Conservação do Solo e da Água*. Santa Catarina. Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento. Florianópolis. pp. 105-117.

- Amado, T.J.C., Matos, A.T. y Torres, L. 1990. Flutuação de temperatura e umidade do solo sob preparo convencional e em faixas na cultura da cebola. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 25(4):625-31
- Anderson, J.P. 1982. Chemical and microbiological properties. Soil respiration. Agronomy monograph No. 9. ASA-SSSA.USA
- AOAC, 1995. Official Methods of Analyses of AOAC International. Agricultural Chemicals; Contaminants; Drugs. 16th Edition. Volume 1. USA.
- Bayer, C. L., Martin-Neto, J. Mielniczuk, C.N. y L. Sangoi. 2001. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 65, 1473
- Becker, M., Ladha J.K. y Ali M. 1995. Green manure technology: Potential, usage and limitations. A case for lowland rice. *Plant and Soil.* 174. 181-184.
- Beltrán-Morales, F.A. 2000. Mineralización del nitrógeno en el suelo, bajo tres sistemas de labranza, en los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y avena (*Avena sativa* L.). Tesis de maestría. FAZ-UJED. México.
- Beltrán-Morales F.A. 2003. El Nitrógeno. Su impacto en la agricultura y en el ambiente. pp. 20-23. Primera Edición. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México.



- Beltrán-Morales A., J. L. García-Hernández, R. D. Valdez-Cepeda, B. Murillo-Amador, E. Troyo-Dieguez, J. Larrinaga-Mayoral, F.H. Ruiz-Espinoza, L. Fenech-Larios y F. García-Rodríguez. 2005. Efecto de sistemas de labranza e incorporación de abono verde en la recuperación de la fertilidad de un suelo areno-migajoso. *Terra Latinoamericana*. Vol. 23, Núm 3. 381-387. México.
- Beltrán-Morales L.F., F. García-Rodríguez, J. Borges-Contreras, G. Sánchez-Mota y A. Ortega-Rubio. 2003. Environmental and socioeconomic multivariate analysis of the primary economic sector of Mexico. *Sustainable Development. Sus. Dev.* 11, 77.
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación costarricense de la ciencia del suelo. San José, Costa Rica. 307 p.
- Bifani, P. 1999. Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. IEPALA. Madrid, España. 593 pp.
- Blackshaw, R.E., J.R. Moyer, R.C. Doram y A.L. Boswell. 2001. Yellow sweetclover, green manure and its residues effectively suppress weeds during fallow. *Weed Science* 49:406-413.
- Bravo, C. y E. Andreu. 1995. Propiedades físicas y producción de maíz (*Zea mays* L.) en un Alfisol del estado Guárico, Venezuela, bajo dos sistemas de labranza. *Revista de la Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo y del Instituto de Edafología*: 10-15.

- Bulisani, E.A. y Roston, A.J. 1993. Leguminosas: adubação verde e rotação de culturas. En: Curso sobre Adubação Verde no Instituto Agronômico, 1. Wutke, E.B.; Bulisani, E.A. y Mascarenhas, H.A.A. Campinas: Instituto Agronômico. pp. 13-16.
- Bučienė, A., A. Šlepetienė, D. Šimanskaitė, A. Svirskienė y B. Butkutė. 2003. Changes in soil properties under high- and low-input cropping systems in Lithuania. *Soil use and management*. Vol 19:291-297.
- Cameron, D.G. 1988 Tropical and subtropical pasture legumes. *Queensland Agricultural Journal*. March-April: 110-113.
- Chen, Y. y T. Aviad. 1990. Effects of humic substances on plant growth. In: *Humic Substances in Soil and Crop Sciences: Selected Readings*. P. MacCarthy, C. E. Clapp, R.L. Malcolm y P. R. Bloom, eds. Wisconsin: Amer. Soc. Agronomy. pp. 161-186.
- Codex Alimentarius. 1999. Guidelines for the production, processing, labeling and marketing of organic produced products. GL-32 - 1999. Rev. 2001.
- Colla, G., J. P. Mitchell, Joyce B. A., Huyck L. M., Wallender W. W., S. R. Temple, T. C. Hsiao, y D. D. Poudel. 2000. Soil physical properties and tomato yield and quality in alternative cropping systems. *Agron J.* 92:924-932.
- CNA, 2005. Comisión Nacional del Agua. Estadísticas del Agua en México. México. 143 pp.
- Costa, M.B.B. da (Coord.). Calegari, A., Mondardo, A., Bulisani, E.A., Wildner, L. do P., Alcântara, P.B., Miyasaka, S. y Amado, T.J. 1992. Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro, AS-PTA. 346 p.

- Curi, N. 1993. En colaboración con J.O.I. Larach, N. Kampf, A.C. Moniz y L.E.F. Fontes. Vocabulário de ciência do solo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 90 p.
- Da Costa, M.B. 1991. Adubacao verde no sul do Brasil. Rió de Janeiro, Brasil. 350 p.
- Dara, S.T. Fixen, P.E. y Gelderman R.H. 1992. Sufficiency levels and diagnosis and recommendation integrated system approaches for evaluating the nitrogen status of corn. *Agron.J.* 84, 1006-1010.
- De la Vega, A., Chapman, SC., Hall, A.J. 2001. Genotype by environment interaction and indirect selection for yield in sunflower. *Field Crop Research* 17-38.
- Derpsch, R., Sidiras, N. y Heinzmann, F.X. 1985. Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. *Pesq. Agropec. Bras.* Brasília, 20 (7):761-73.
- Dick, W. A. 1983. Influence of long term tillage and crop rotation combinations on soil enzyme activities. *Soil. Sci. Soc. Am.J.* 48:569-574.
- Dick, W. A. 1984. Organic carbon, nitrogen and phosphorus concentrations and pH soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Sci. Am. J.* 47, 102.
- Ding, G., Novak, J., Amarasiriwardena, P., Hunt, P. y Xing B. 2002. Soil organic matter characteristics as affected by tillage management. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:421-429
- Doran J.W, Elliott E.T.y Paustian K. 1998. Soil microbial activity, nitrogen cycling, and long-term changes in organic carbon pools as related to fallow tillage management. *Soil & Tillage Research*, Volume 49, Number 1, 17, pp. 3-18(16)

- Eck, H. V. y O.R. Jones.1992. Soil nitrogen status as affected by tillage, crops, and crop sequence. *Agron. J.* 84, 660
- Eckert, D.J. W.A. Dick y J.W. Jhonson. 1986. Response of no-tillage corn growth in corn and soybean residues to several nitrogen fertilizer sources. *Agron.J.* 78:231-235.
- ELE International, 2002. Operating Instructions, proving ring penetrometer, model: 29-3739(CN-970) USA.
- El Titi, A. 2003. Soil tillage in agroecosystems. CRC Press LLC. Boca Raton, Florida USA.
- Erenstein, O. 1997. Conservation tillage or residue conservation? An evaluation of residue management in Mexico. NRG Reprint series 97-02. México, D. F. CIMMYT.
- España, M., Rodríguez, B., Cabrera E. y Cecanti B. 2001. Actividades enzimáticas y contribución de residuos de cosecha de maíz al nitrógeno del suelo en sistemas de labranza, en los llanos centrales, Venezuela. *Terra Latinoamericana* 20: 81-86.
- Etchevers, J.D. 1987. Análisis químico de planta, aspectos teóricos. Colegio de postgraduados, Chapingo, México.
- Flores, M. 1993. El uso del frijol lablab - Noticias sobre el uso de los cultivos de cobertura. CIDICCO Carta No. 4, Honduras.
- Fox, R.H. y V.A. Bandel.1986. Nitrogen utilization with no tillage. In: NT and surface tillage agriculture. Wiley Interscience Pub. N.Y.

- Galvis, S. A. 1993. Fertilización de cultivos, Método propuesto por J. Rodríguez S. Curso “Generación de normas de fertilización”. Colegio de Postgraduados.
- García-Hernández, J.L., E Troyo Diéguez y B. Murillo Amador. Apuntes de Labranza Mínima y Labranza de Conservación. 2000. Publicación para la Transferencia y Divulgación No 3. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. 56 pp.
- García-Hernández, J.L. 2005. Manejo de plagas en la producción de hortalizas orgánicas. pp. 89-102. En: Memoria del 5° Simposio Nacional de Horticultura. Saltillo, Coahuila, México, 26-28 de octubre de 2005.
- García-Hernández J.L., R.D. Valdez-Cepeda, N.Y. Avila-Serrano, B. Murillo-Amador, A. Nieto-Garibay, R. Magallanes-Quintanar, J. Larrinaga-Mayoral y E.Troyo-Diéguez. 2005. Preliminary compositional nutrient diagnosis norms for cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) grown on desert calcareous soil. *Plant and Soil* 217 (1-2):297-307.
- García R. M. 1997. Contribución al estudio y utilización de los abonos verdes en cultivos económicos desarrollados sobre suelos Ferralíticos rojos en las condiciones de Cuba. Tesis de Doctorado. Instituto Superior de Ciencias Agrícolas de la Habana. Cuba.
- Gliessman, S. R. 1998. Agroecology and sustainability: The ecological framework. p. 8. In: *Atti Agroecology and sustainability, Intercool Symposium, 20-30 July 1998. Florence, Italy.*
- Guerena, M. 2006. Nematodes: Alternative controls. National Sustainable Agriculture Service. USA.

- Harricharan, H. J., Morris, J. y Devers, C. 1988. Mineral content of some tropical forage legumes. *Tropical Agriculture (Trinidad)*. 65(2):132-136.
- Hartwing, N.L. y Ammon, H.U. 2002. Cover crops and living mulches. *Weed Science* 50: 688-699.
- Havlin, S.L., M.M. Classen, J..M. Long y S.E. Kissel. 1990. Great plain soil fertility conf. proc. Vol. 3. Denver Co. Kansas State University.
- Hendricksen, R. E. y Minson, D. J. 1985 *Lablab purpureus* - A Review. *Herbage Abstracts*. 55:215-227.
- Hernández, R.M. 1998. Transformaciones de Carbono y Nitrógeno y su distribución en agregados de un suelo tropical bajo dos tipos de labranza contrastante. Tesis. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 229 pp.
- Humphreys, L.R. 1995. Diversity of productivity of tropical legumes. In: *Tropical legumes in animal nutrition*; D'Mello, J.P.F. y C. Devendra (eds). CAB International, Wallingford, UK.
- Igue, K. 1984. Dinámica da materia organica e seus efeitos na propriedade do solo. Pp. 232-267. In: *Adubo verde no Brasil*. Fundacao Cargill, Campinas SP. Brasil.
- INEGI, 1997. Estadísticas del Medio Ambiente. México. INEGI. México.
- INEGI, 2002. Anuario Estadístico del Estado de Baja California Sur. México.
- John, P.S., Pandey, R.K. Buresh, R.J. y Prasad, R. 1992. Nitrogen contribution of cowpea green manure and residue to upland rice. *Plant and Soil* 42(1):53-61.
- Jones, R. K, Dalgliesh N. P., Dimes J. P. y McCown R. L. 1991 Sustaining multiple production systems. *Ley pastures in crop-livestock systems in the semi-arid tropics*. *Tropical Grasslands*. 25:189-196.

- Jhonson, D.E. 1998. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. Thomson Ed. 566 p.
- Kay, D. E. 1979. Hyacinth Bean-Food Legumes. Crop and Product Digest No. 3. Tropical Products Institute. Xvi:184-196.
- Kitur, B.K., M.S. Smith, R.L. Blevins y W.W. Frye. 1984. Fate of N depleted ammonium nitrate applied to no-tillage and conventional tillage corn. Agron. J. 76:240-242.
- Kleinhenz, V., W.H. Schnitzler y D.J. Midmore. 1997. Effects of legume live-mulch on crop performance, soil available nitrogen and crop N status in intensive tropical vegetable production. Biol. Agric. Hortic. 14:261-278.
- Kristensen, K.T. 2006. Root growth and nitrogen uptake of carrot, early cabbage, onion and lettuce following a range of green manures. Soil use and management. 22:29-38.
- Kroonenberg, P.M., 1997. Introduction to biplots for G x E tables. Research report No. 51. Centre for Statistics, The University of Queensland, Brisbane, Qld.
- Labrador, M. J. 1990. La materia orgánica en los agrosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y alimentación. España. 174 p.
- Magallanes-Quinatnar R., R.D. Valdez-Cepeda, E. Olivares-Sáenz, O. Pérez-Veyna, J.L. García-Hernández, J.D. López-Martínez. 2006. Compositional nutrient diagnosis in maize grown in calcareous soil. J Plant Nutrition. (ACEPTADO)
- Mayer, L., Chandler D. R. y Taylor M.S. 1986. *Lab-lab purpureus* - A fodder crop for Botswana. Bulletin of Agricultural Research in Botswana No. 5:37-48.

- Marco, O.L. y R.E. Reyes. 2003. Tecnologías limpias aplicadas a la agricultura. *Interciencia* 28:252-258.
- Malavolta, E. 1989. Nutricao mineral, calagem, gessagen e adubacao dos citrus. Asociacao Brasileira para pesquisa du potassa e do fosfato. Brasil.
- Marschner, H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. 674 p. Academic Press, London, UK.
- Mehari, A., F.A. Mrema y M. Weih. 2005. The suitability of *Acacia tortilis* as an alternative tree manure crop to *Leucaena leucocephala* in sub-Saharan Africa. *Afr. J. Ecol.* 43:162-165.
- Menéndez, J. Mesa, A. R. y Esperance, M. 1985. Dolichos (*Lablab niger*). *Pastos y Forrajes*, 8:321-335.
- Mendoza, R., J.L. y R. Acosta S. 1988. Influencia de dos sistemas de labranza en la rotación trigo-soya en el norte de Sinaloa. *Terra* Vol. 6 No. 1, 52-58.
- Meelu, O.P., 1992. Grain yield responses in rice to eight tropical green manures. *Tropical Agriculture*. 69 (2):133-136.
- Mora Gutiérrez M, V. Ordaz, J.Z. Castellanos, A. Aguilar S., F. Gavi y V. Volke H, 2001; Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un verti sol, después de cuatro años de manejo. *Terra* vol. 19:67-74.
- Moreno, A. 1994. Apuntes del curso “Fundamentos básicos del sistema Labranza de Conservación”. Villadiego, Gto. México. Centro de Capacitación en LC. FIRA.
- Morkoc, F., J. W. Bigger, R. J. Miller, y D. R. Nielsen. 1985. Statistical analysis of shorgum yield: a stochastic approach. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49: 1342-1348.



- Monegat, C. 1981. A ervilhaca e o cultivo mínimo. ACARESC, Chapecó. 24p.
- Monegat, C. 1991. Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades. Ed. do autor, Chapecó. 337 p.
- Munawar, A., R. L. Blevins, W. W. Frye y M. R. Saul. 1990. Tillage and cover crop management for soil water conservation. *Agron. J.* 82:773-777.
- Murphy, A.M. y P. E. Colucci. 1999. A tropical forage solution to poor quality ruminant diets: A review of *lablab purpureus*. *Livestock Research for Rural Development* 11, 2.
- Murphy, A.M., Colucci, P.E. y Padilla M.R. 1999. Analysis of the growth and nutritional characteristics of *lablab purpureus*. *Livestock Research for Rural Development* (11) 3.
- Muzilli, O., Vieira, M.J. y Parra, M.S. 1980. Adubação verde. En: *Manual Agropecuário para o Paraná*, Capítulo 3, Fundação Instituto Agronômico do Paraná. pp. 76-93.
- Norton, B. W. y Poppi, D. P. 1995. Composition and Nutritional Attributes of Pasture Legumes. In. *Tropical Legumes in Animal Nutrition*; D'Mello, J P F. and C Devendra (Eds). CAB International, Wallingford, UK. pp 23-47.
- Nyborg, M., E.D. Solberg, S.S. Malhi y R.C. Iturralde. 1995. Fertilizer N, crop residue and tillage alter soil C and N content in a decade. p. 93-99. In: R. Lal *et al.* (ed.) *Soil management and greenhouse effect*. Adv. Soil Sci., CRC Lewis publishers, Boca Raton, FL.

- Nuñez, M.A. 2000. Manual de Tecnicas Agoecologicas. Manuales de Educación y Capacitación. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México.
- Odeh, I. O. A., A.B. McBratney y D.J. Chittleborough. 1992. Fuzzy-c-means and kriging for mapping soil as a continuous system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56, 1848.
- Onim, J.F.M., Mathuva, M., Otieno, K. y Fitzhugh, H.A. 1990. Soil fertility changes and response of maize and beans to green manures of leucaena, sesbania and pigeonpea. *Agroforestry Systems* 12(2): 197-215.
- Ortiz, M., M. Anaya y J. Estrada, 1994. Evaluación, cartografía y políticas preventivas de la degradación de los suelos. Colegio de Postgraduados. Universidad Autónoma de Chapingo/Conaza. México.
- Oregon Tilth Certified Organic, Inc. 2002. 470 Lancaster Dr. N.E. Salem, OR 97301. Edited by Oregon Tilth Inc. USA.
- Paine, L. y H. Harrison. 1993. The historical roots of living mulch and related practices. *Hortecology* 3:137-142.
- Parkin, T. B., S.T. Chester y J.A. Robinson. 1990. Calculating confidence intervals for the mean of a lognormally distributed variable. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 321-326.
- Pecorari, C., Andriulo, A. y Ausilio, A. 1993. Aptitud físico-mecánica de los suelos para el laboreo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Informe Técnico 281. 16 p. Argentina.

- Pedraza, H. 1999. Evaluación de proyectos. Primera edición. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México.
- Poppi, D. P. y McLennan, S. R. 1995. Protein and energy utilization by ruminants at pasture. *Journal of Animal Science* 73:278-290.
- Potash and Phosphate Institute. 1988. Manual de fertilidad de los suelos. USA
- Rice, C.W., L. Smith y R. L. Blevins. 1996. Soil nitrogen availability after long-term continuous no tillage and conventional tillage corn production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44:996-1000.
- Riha, S.J., B.R. James, G.P. Senesac y E. Pallant. 1986. Spatial variability of soil pH and organic matter in forest plantations. *Soil sci. Soc. Am. J.* 50:1347-1352.
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 2004. Plan Rector Sistema Producto Orgánico Albahaca, Anuario estadístico de la producción agrícola en México.
- Said, A. N. y Tolera, A. 1993. The supplementary value of forage legume hays in sheep feeding: feed intake, nitrogen retention and body weight changes. *Livestock Production Science.* 33:229-237.
- Salazar-Sosa, E., F.A. Beltrán-Morales, M. Fortis-Hernández, J.A. Leos-Rodríguez, J.A. Cueto-Wong y C. Vázquez-Rodríguez. 2003a Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de avena forrajera con tres sistemas de labranza. *Terra.* 21:561-567.

- Salazar-Sosa, E., F.A. Beltrán-Morales, M. Fortis-Hernández, J.A. Leos-Rodríguez, J.A. Cueto-Wong y C. Vázquez-Rodríguez. 2003b. Mineralización de nitrógeno en el suelo y producción de maíz forrajero con tres sistemas de labranza. *Terra*. 21:561-567.
- Sandia, L., M. Cabeza, J. Arandia y G. Bianchi. 1999. *Agricultura, Salud y Ambiente*. CIDIAT. Fundación Polar. Caracas, Venezuela. 243 pp.
- Senaratne y Hardarson, 1988. Estimation of the residual N effect of faba bean and pea on two succeeding cereals using  $^{15}\text{N}$  methodology. *Plant and Soil* 110, 81-89
- Sharma, R.C. y Sharma, H.C. 1990. Fertilizer phosphorus and potassium equivalents of some green manures for potato in alluvial soils of Punjab. *Tropical Agriculture* 67(1):74-76.
- Sharma, A. R. y A. Ghosh. 2000. Effect of green manuring with *sesbania aculeata* and nitrogen fertilization on the performance of direct-seeded flood-prone lowland rice. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 57(2):141-153. {a} Central Soil and Water Conservation Research and Training Institute, Dehradun, 248195, India
- Shatilov, I.S. y Dobrovolskaya, V.G. 1991. Uptake of major nutrients by lucerne grown with and without cover crop. *Izvestiya Timiryazevskoi Sel'skokhozyaistvennoi Akademii* no.2:11-27.
- Scherer, E.E. y Baldissera, I.T. 1988. Mucuna: a proteção do solo em lavoura de milho. *Rev. Agrop. Catarinense*, Florianópolis, 1(1): 21-25.

- Silva-Acuña R., Sanabria, D., Marcano, M., Rivas, E., Barrios N. y Navas, M. 2005. Cambios en las propiedades físicas y químicas de un suelo de sabana bien drenada, con tres sistemas de labranza, en una pastura degradada de *Brachiaria humidicola*. *Zootecnia Trop.* v.23 n.4 Maracay, Venezuela.
- Sinclair, R. 1996. *Dolichos lablab*: una alternativa para la alimentación del ganado en épocas de verano. Centro Internacional de Información Sobre Cultivos de Cobertura (CIDICCO) Informe Técnico No. 15.
- Six, J. Elliott E.T. y Paustian K. 2000. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol. Biochem.* 32:2099-2103.
- Smyth, T.J., Cravo, M.S. y Melgar, R.J. 1991 Nitrogen supplied to corn by legumes in a central Amazon oxisol. *Tropical Agriculture* 68(4):366-372.
- Sullivan, P. 2003. Overview of cover crops and green manures. *Fundamentals of sustainable agriculture*. National Sustainable Information Service. USA. 16p
- Sumner, M.E. 2000. *Handbook and soil science*. CRC Press LLC. Boca Raton, Florida. USA. 632p.
- Ter Brack, C.J.F. y Smilauer, P. 1998. CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (version 4). Microcomputer Power. Ithaca, NY, USA.

- Thönnissen, C., D.J. Midmore, J. K. Ladha, R.J. Holmer y U. Schmidhalter. 2000a.  
Tomato crop response to short-duration legume green manures in tropical vegetable systems. *Agron. J.* 92:245-253.
- Thönnissen, C., D.J. Midmore, J. K. Ladha, D.C. Olk y U. Schmidhalter. 2000b.  
Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agron. J.* 92:253-260.
- Trangmar, B.B., R.S. Yost, M.K. Wade, G. Uehara y M. Sudjadi. 1987. Spatial variation of soil properties and rice yield on recently cleared land. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 51:668-674.
- United States Department of Agriculture (USDA). 2003. Soil compaction: Detection, Prevention, and Alleviation. Technical note No. 17. USA.
- Valdez-Cepeda, R. D. 1997. Análisis estocástico espacial de procesos edáficos y de plantas en *Zea mays* L. Tesis doctoral. UANL. Marín, N.L.
- Walters, D.T., M.S. Aulakh y J.W. Doran. 1992. Effects of soil aeration, legume residue and soil texture on transformation of macro and micronutrients in soils. *Soil Sci.* 153:100-107.
- Warren, J.A. y I. Méndez. 1982. Methods for estimating background variation in field experiment. *Agron. J.* 74:1004-1009.

- Wildner, L. do P. y Massignam, A.M. 1994. Ecofisiologia de alguns adubos verdes de verão: III. Curva de cobertura do solo - resultados preliminares. En: Reunião Centro-sul de adubação verde e rotação de culturas, 4, 1993, Passo Fundo, RS. Anais. EMBRAPA-CNPT, Passo Fundo. pp. 147-150. (EMBRAPA- CNPT. Documentos, 14).
- Wilson, J. R. 1993. Organization of forage plant tissues. In: Forage Cell Wall Structure and Digestibility; H G Jung, D R Buxton, R D Hatfield and J Ralph (Eds). American Society of Agronomy, Madison, pp. 1-32.
- Wivstad, M., Dahlin, A.S. y Grant, C. 2005. Perspectives on nutrient management in arable farming system. *Soil Use and Management* 21, 113-121.
- Wood, I. M. 1983. Lablab bean (*Lablab purpureus*) for grain and forage production in the Ord River Irrigation Area. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 23:162-171.
- Wutke, E.B. 1993. Adubação verde: manejo da fitomassa e espécies utilizadas no Estado de São Paulo. En: Curso sobre Adubação Verde no Instituto Agronômico, 1. Wutke, E.B.; Bulisani, E.A. & Mascarenhas, H.A.A. Instituto Agronômico, (Documentos IAC, 35), Campinas. pp. 17-29.
- Young III, W. y Youngberg H. 1996. Cropping systems for perennial ryegrass seed production: II. Minimum tillage systems for changing cultivars in certified seed production. *Agron. J.* 88:78-82.