

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**Centro Interdisciplinario de Investigación para
el Desarrollo Integral Regional
CIIDIR-IPN UNIDAD OAXACA**

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE
RECURSOS NATURALES
ESPECIALIDAD EN PROTECCIÓN Y PRODUCCIÓN VEGETAL

**EFFECTO DE FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN LENTA EN MAGUEY
MEZCALERO (*Agave angustifolia* Haw.)**

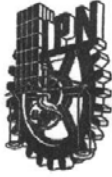
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
PRESENTA

ANTONIA JESÚS PACHECO RAMÍREZ

Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca.

Diciembre de 2007



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 23 del mes de Noviembre del 2007 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del Centro **Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA)** para examinar la tesis de grado titulada:

Efecto de fertilizantes de liberación lenta en maguey mezcalero (*Agave angustifolia* Haw.)

Presentada por la alumna:

<u>Pacheco</u>	<u>Ramírez</u>	<u>Antonia Jesús</u>
Apellido paterno	materno	nombre(s)

Con registro:

B	0	5	1	3	2	2
---	---	---	---	---	---	---

aspirante al grado de: **MAESTRO EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**

Después de intercambiar opiniones 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
Director de tesis


Dr. Celerino Robles Pérez


Dr. Jaime Ruiz Vega


M. en C. Laura Martínez Martínez


Dr. José Raymundo Enriquez Valle


COMISION INTERDISCIPLINARIA DE INVESTIGACION PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
CIIDIR
UNIDAD OAXACA
IPN
M. en C. Felipe de Jesús Palma Cruz

LA PRESIDENTA DEL COLEGIO


Dra. María del Rosario Arnaud Viñas



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día 23 del mes Noviembre del año 2007, el (la) que suscribe **PACHECO RAMÍREZ ANTONIA JESÚS** alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro **B051322**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Celerino Robles Pérez y cede los derechos del trabajo titulado: **“Efecto de fertilizantes de liberación lenta en maguey mezcalero (*Agave angustifolia* Haw.)”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: posgradoax@ipn.mx ó tonys_910@hotmail.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL
CIDR-UNIDAD OAXACA

PACHECO RAMÍREZ ANTONIA JESUS

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes de liberación lenta, minerales y orgánicos, sobre la absorción de nutrientes y el crecimiento de plantas de *Agave angustifolia* Haw., así como sobre indicadores de calidad del suelo. Para cumplirlo se establecieron dos experimentos. El experimento I consistió de 16 tratamientos producto de la combinación de tres factores 2x4x2 (fertilización orgánica FO y mineral con fertilizantes de liberación lenta FLL y momento de aplicación de los fertilizantes MO). Durante un año se registraron cada tres meses la altura y número de hojas. A los doce meses se evaluaron: el incremento en altura; en hojas (número, área foliar, pesos fresco y seco, y concentración de macronutrientes); en el tallo (diámetro, °Brix, pesos fresco y seco); el número de hijuelos producidos; y se analizaron características físico-químicas del suelo donde fueron cultivados los agaves. El mayor número de hojas desplegadas se observó en los meses con mayor precipitación (mayo-noviembre), ya sea con FO o mineral. Para altura de planta y número de hijuelos ninguno de los tres factores promovió efectos significativos. La FO no promovió efectos en las variables evaluadas en las hojas, y en tallo solo para la variable °Brix se registró significativamente mayor promedio (26.2) cuando se aplicó composta, mismo tratamiento con mayor concentración de nitrógeno (0.856%) en hojas. El FLL que mostró los mayores promedios en las variables de tallo y hojas fue Turf Builder®, con el que además se registraron mayores y significativos promedios de peso fresco (1613.4 g) y seco de hojas (307.0 g). Con el factor MO se registró que al aplicar el fertilizante en un solo momento existe una tendencia de mayores promedios para las variables de hojas y tallo, pero además presentó significativamente mayor área foliar (706.4 cm²). Para las variables evaluadas en el suelo la aplicación de fertilizantes minerales y orgánicos solo promovió efectos significativos en el incremento de la conductividad eléctrica. El experimento II constó de 18 tratamientos producto de un diseño factorial 3x6 (suelos por fertilizantes). A los dos y cuatro meses después de establecido el experimento se obtuvieron percolados para el análisis de N-NO₃⁻ y N-NO₂⁻ lixiviados. A los 145 días después del trasplante se evaluaron nitratos y nitritos en el tejido foliar. La adición de vermicomposta resultó en una mayor y significativa lixiviación de nitratos (151.52 y 106.08 mg L⁻¹) en las dos fechas de muestreo, mientras que la menor lixiviación se presentó con Turf Builder® (7.44 y 13.24 mg L⁻¹). Para la concentración de nitritos Miracle-Gro® registró valores significativamente mayores a los demás tratamientos, en ambas fechas, 28.6 y 486 mg L⁻¹ respectivamente. Respecto al tipo de suelo BG presentó la mayor lixiviación de nitratos y nitritos (109 y 10.8 mg L⁻¹) a los dos meses, y el suelo RM a los cuatro meses (83.13 y 145.89 mg L⁻¹). El tipo de suelo no modificó significativamente la concentración de nitratos en las hojas de agave, pero sí la de nitritos.

Palabras claves: agave, fertilizantes de liberación lenta, lixiviación, nitrato, nitrito.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the effects promoted for the application of mineral and organic slow release fertilizers on the absorption of nutrients and the growth of plants of *Agave angustifolia* Haw. and on soil quality indicators. Two experiments were established. The first one consisted of 16 treatments product of the combination of three factors 2x4x2 (Organic OF and mineral fertilization with of slow release fertilizers SRF and moment of application of the fertilizers MO). Each three months during a year we registered the plant height and number of leaves. Twelve months after plantation were evaluated: increment in plant height; in leaves (number, foliar area, fresh and dry weights, and concentration of macronutrients); in stem (diameter, °Brix, fresh and dry weights); the number of root suckers produced. Physical and chemical characteristics of the soil were analyzed after the agave cropping. The higher number of folded leaves was observed in the months with higher precipitation (may-november), with OF or SRF applications. For plant height and number root suckers the three factors did not promote significant effects. The OF did not promote effects in the evaluated variables in the leaves, and only in stem for °Brix obtained significant higher average (26.2) when applied compost, the same treatment with higher concentration of nitrogen (0.856%) in leaves. The higher values in the variables of stem and leaves were obtained with the Turf Builder® fertilizer, and were registered higher and significant average values of fresh (1613.4 g) and dry (307.0 g) foliar weights. For the MO factor we registered that when apply the fertilizer in a one moment exists a tendency of higher averages for the variables of leaves and stem, and the foliar area was significant higher (706.4 cm²). Soil variables registered non effects for application of organic or mineral fertilizers, except electric conductivity, variable modified when SRF were applied. The second experiment consisted of 18 treatments product of a factorial design 3x6 (soils by fertilizers). Two and four months after established the experiment leachates were obtained for the analysis of N-NO₃⁻ and N-NO₂⁻ leaching. 145 days after transplanting we evaluated nitrate and nitrite concentration in leaves. The addition of vermicompost resulted in higher and significant nitrate leaching (151.52 and 106.08 mg L⁻¹) in both sampling dates, while the smaller leaching values were registered with Turf Builder® (7.44 and 13.24 mg L⁻¹). Nitrite leaching was significant higher with Miracle-Gro® application in both dates, 28.6 and 486 mg L⁻¹ respectively. Respect to soil type, BG soil presented the higher leaching values of nitrate and nitrite (109 and 10.8 mg L⁻¹) at two months, and RM soil at four months (83.13 and 145.89 mg L⁻¹). The soil type did not modify significantly the nitrate concentration in the agave leaves, but the nitrites concentration did it.

Key words: agave, slow release fertilizers, leaching, nitrate, nitrite.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por su valioso apoyo para realizar los estudios de maestría.

Al Dr. Celerino Robles Pérez, principalmente por su gran ayuda para que este trabajo fuera más fácil y bueno por su agradable carácter para trabajar en equipo.

Al Dr. J. Raimundo Enríquez del Valle por su valiosa paciencia y sugerencias para mejorar el escrito de esta tesis.

Al Dr. Felipe Palma Cruz indudablemente por su gran atención prestada en la revisión del trabajo.

M. C. Laura Martínez Martínez, por sus valiosos comentarios y sugerencias.

Dr. Jaime Ruiz Vega por atención brindada para la revisión de este escrito.

Bueno y puntualmente un sincero agradecimiento a la Q. B. Blanca y Trinidad Ramos Vázquez por tantas horas de trabajo en campo y laboratorio mil gracias, además por la gran amistad que surgió después de haber formado un gran equipo de trabajo.

DEDICATORIA

Indudablemente a Dios por haber puesto en mi vida a esa planta tan admirable y noble que desde inicios de mi niñez y en los años posteriores me dado diversión, entretenimiento, alegría y satisfacción en mi vida;

Cuando apenas tenía 7 años de edad, sus hojas (pencas) arrosetadas, carnosas y fibrosas me aportaba el ixtle para que yo hiciera mi primera tira piedra, posteriormente su espina terminal servía como lápiz para dibujar en sus suculentas pencas los mejores dibujos de mi infancia. El escapo comúnmente llamado quiote que me sirvió como el mejor transporte para recorrer las pronunciadas pendientes del cerro de Agua del Espino.

Además fue uno de los principales componentes que dio sabor a la cocción de la comida de mi graduación de Bachillerato y licenciatura y a la obtención de mezcal que le puso sabor a mis fiestas.

Por a través del estudio del agave e tenido la oportunidad de conocer a personas maravillas y llenas de experiencia.

Dentro de las satisfacciones obtenidas a través del estudio de esta planta obtuve un viaje para conocer uno de los palenques más grandes y antiguos del estado de Zacatecas, mi constancia de servicio social, una beca mensual durante un año, por propagación in vitro del *Agave angustifolia* proyecto dirigido por el Dr. J. Raymundo E. V.

Porque a través de la evaluación del agave obtuve el título de licenciatura y espero lo mismo con el de maestría.

**La apariencia física, no se refleja la nobleza del hombre
Como las filosas espigas del agave no reflejan sus azucarados tallos**

A. J. P. R

ÍNDICE

Pág.

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN 13

1.1 Objetivo general	15
1.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 Hipótesis.....	16

CAPÍTULO II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 <i>Agave angustifolia</i> en Oaxaca	17
2.2 Abonos orgánicos.....	19
2.2.1 Importancia	19
2.3 Tipos de abonos orgánicos.....	20
2.3.1 Composta	20
2.3.1.1 Efectos de la aplicación de composta.....	21
2.3.2 Vermicomposta.....	23
2.3.2.1 Efectos de la aplicación vermicomposta	24
2.4 Fertilizantes minerales.....	27
2.4.1 Fertilizantes de liberación lenta (FLL).....	27
2.4.1.1 Ventajas	28
2.4.1.1 Desventajas	29
2.4.1.3 Factores que influyen en la liberación de los FLL.....	29
2.4.2 Tipos de fertilizantes minerales de liberación lenta	31
2.4.2.1 Recubiertos.....	31
2.4.2.1.1 Tipos de recubrimiento	31
2.4.2.2 De baja solubilidad	33
2.4.2.3 Inhibidores de nitrificación	34
2.4.3 Efecto de la aplicación de FLL.....	34
2.5 Lixiviación de nitratos	36
2.5.1 Magnitud de la lixiviación de nitratos y nitritos bajo diversas condiciones de manejo agrícola.....	37

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio.....	39
3.2 Experimento 1.....	39
3.2.1 Obtención del material vegetal	40
3.2.2 Establecimiento en invernadero	40
3.2.3 Análisis de suelo y abonos orgánicos	41
3.2.4 Establecimiento en campo	41
3.2.5 Diseño experimental	42
3.2.6 Variables de respuesta	45
3.2.7 Análisis de los datos	50
3.3 Experimento 2	51
3.3.1 Obtención de suelos.....	51
3.3.2 Obtención del material vegetal	52
3.3.3 Establecimiento del experimento	52
3.3.4 Diseño experimental	53
3.3.5 Variables de respuesta	55
3.2.6 Análisis de los datos	56

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Experimento I.....	57
4.1.1 Características evaluadas en las plantas de <i>Agave angustifolia</i>	57
4.1.1.1. Altura de la planta	57
4.1.1.2 Parámetros evaluados en hojas.....	62
4.1.1.2.1 Concentración foliar de nutrimentos.....	71
4.1.1.3 Parámetros evaluados en tallo.....	78
4.1.1.4 Número de hijuelos	82
4.1.2 Parámetros evaluados en el suelo	85
4.2 Experimento II	88
4.2.1 Nitratos y nitritos lixiviados por efecto de la fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta.....	88
4.2.2 Nitratos y nitritos lixiviados por efecto del tipo de suelo	91
4.2.3 Nitratos y nitritos en hojas <i>A. angustifolia</i> por efecto de la fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta.	97
4.2.4 Nitratos y nitritos en hojas <i>A. angustifolia</i> por efecto del tipo de suelo	98

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	100
---------------------------------------	------------

CAPÍTULO VI. LITERATURA CITADA	103
---	------------

ANEXOS	113
---------------------	------------

ÍNDICE DE CUADROS

1	Análisis físico-químico del suelo antes del trasplante de los agaves ...	41
2	Tratamientos aplicados en el experimento I.....	44
3	Métodos utilizados en el análisis químico de material vegetal	49
4	Propiedades físico-químicas de los suelos	51
5	Tratamientos aplicados en el experimento II.....	54
6	Incremento en altura de las plantas de <i>Agave angustifolia</i> que recibieron fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta, en una o dos aplicaciones	62
7	Variables evaluadas en hojas de <i>Agave angustifolia</i> , en respuesta a la fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta, en una o dos aplicaciones.....	70
8	Concentración foliar de macronutrientes analizados en tejido foliar de plantas de <i>Agave angustifolia</i> que recibieron fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta, en una o dos aplicaciones.	76
9	Variables evaluadas en tallos de <i>Agave angustifolia</i> en respuesta a la fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta, en una o dos aplicaciones.....	80
10	Número de hijuelos producidos por plantas de <i>Agave angustifolia</i> en respuesta de la fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta, en una o dos aplicaciones.....	84
11	Análisis físico-químico del suelo donde fueron sembrados los agaves que recibieron tratamientos de fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta, en una o dos aplicaciones.....	87
12	Concentración de nitratos (N-NO ₃ ⁻) en percolados a los dos y cuatro meses después de haber aplicado la fertilización a plantas de <i>Agave angustifolia</i> cultivadas en macetas.....	89
13	Concentración nitritos (N-NO ₂ ⁻) en percolados a los dos y cuatro meses después de haber aplicado la fertilización a plantas de <i>Agave angustifolia</i> cultivadas en macetas.....	91

14	Concentración de nitratos (N-NO ₃ -) en percolados a los dos y cuatro meses después de la fertilización a plantas de <i>Agave angustifolia</i> cultivadas en macetas con tres tipos de suelo.	93
15	Concentración de nitritos (N-NO ₂ -) en percolados a los dos y cuatro meses después de la fertilización a plantas de <i>Agave angustifolia</i> , cultivadas en macetas con tres tipos de suelo.	95
16	Concentración de N-NO ₃ - y N-NO ₂ - en hojas de <i>Agave angustifolia</i> a los 145 días después de la fertilización.	97
17	Concentración de N-NO ₃ - y N-NO ₂ - en hojas de <i>Agave angustifolia</i> , 145 días después de la fertilización y cultivadas en macetas con tres tipos de suelo.	98

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Aplicación de abonos orgánicos y FLL a plantas de <i>A. angustifolia</i>	43
2	Parte del tallo seleccionada para tomar la lectura del diámetro.	45
3	Parte del tallo de agave seleccionada para la cuantificación de °Brix, utilizando el refractómetro.	46
4	Posición de hojas intermedias que fueron cortadas.	47
5	Parte de las hojas de agave utilizada para el análisis de nutrimentos ..	49
6	Curva de secado de los diferentes suelos y abonos orgánicos utilizados	52
7	Distribución de los tratamientos	54
8	Obtención de la muestra.	55
9	Efecto de la fertilización orgánica en el crecimiento en altura de plantas de <i>Agave angustifolia</i>	58
10	Efecto de la aplicación de fertilizantes de liberación lenta en el crecimiento en altura de plantas de <i>Agave angustifolia</i>	59

11	Efecto del momento de aplicación de la cantidad total de los fertilizantes en el crecimiento en altura de plantas de <i>Agave angustifolia</i>	60
12	Efecto de la fertilización orgánica en el desarrollo de hojas de plantas de <i>Agave angustifolia</i>	64
13	Efecto de la aplicación de fertilizantes de liberación lenta en el desarrollo de hojas de plantas de <i>Agave angustifolia</i>	65
14	Efecto del momento de aplicación de la cantidad total de los fertilizantes en el desarrollo de hojas de plantas de <i>Agave angustifolia</i> .66	
15	Características evaluadas en hojas de plantas de <i>Agave angustifolia</i> que recibieron fertilización orgánica y orgánica más mineral con fertilizantes de liberación lenta.	72
16	Concentración de nutrimentos en hojas de plantas de <i>Agave angustifolia</i> que recibieron fertilización orgánica y orgánica mas mineral con fertilizantes de liberación lenta.	77
17	Características evaluadas en tallos de plantas de <i>Agave angustifolia</i> que recibieron fertilización orgánica y orgánica más mineral con fertilizantes de liberación lenta.	81
18	Producción de hijuelos por plantas de <i>Agave angustifolia</i> que recibieron fertilización orgánica y orgánica más mineral con fertilizantes de liberación lenta.	83
19	Efecto del tipo de fertilizante y tipo de suelo en la concentración de N-NO ₃ - en percolados a los dos y cuatro meses después de la fertilización a plantas de <i>Agave angustifolia</i> cultivados en macetas.	94
20	Efecto del tipo de fertilizante y tipo de suelo en la concentración de N-NO ₂ - en percolados a los dos y cuatro meses después de la fertilización a plantas de <i>Agave angustifolia</i> cultivados en macetas.	96

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El maguey mezcalero (*Agave angustifolia* Haw.) es un cultivo de gran importancia económica para el estado de Oaxaca, ya que es la materia prima para la producción del mezcal y presenta un gran potencial para elaboración de edulcorantes y otros productos de alto valor agregado. Sin embargo, debido a que se considera a los agaves como plantas rústicas que requieren cuidados mínimos por su fácil adaptación a suelos de baja fertilidad, se ha creído que pueden producir en condiciones adversas sin ningún problema, ideas que han propiciado el poco interés al estudio de factores, como mayor abastecimiento de nutrientes, que puedan acelerar el crecimiento de las plantas de agave para reducir el tiempo a la cosecha y promover aumentos de rendimiento (Palma, 1998).

Una opción con alto potencial para incorporar nutrientes al cultivo de maguey y promover su crecimiento y producción es la adición de materia orgánica obtenida de la mineralización parcial de materiales de origen vegetal, animal o mixtos, que tienen la capacidad de mejorar las características física y químicas del suelo, a través del mejoramiento de la estructura y aeración, incrementando la materia orgánica y, como consecuencia, la densidad y la capacidad de retención de humedad, así como la disponibilidad de nutrientes. Al mejorar estas características del suelo las condiciones se vuelven más favorables para un mejor crecimiento de los cultivos (Peña *et al.*, 2002).

El uso de estos materiales orgánicos, cuando se hace sin el procesamiento adecuado o con dosis excesivas, puede provocar afectaciones indeseadas a las plantas y a los suelos. Por ello, resulta importante evaluar sus efectos al aplicarlos a un cultivo y bajo condiciones ambientales específicas, antes de generalizar recomendaciones de uso a los agricultores.

Otra forma de manejo de la nutrición vegetal es el uso de fertilizantes minerales de alta solubilidad, opción tecnológica que se ha extendido y generalizado en la agricultura mexicana a partir de la segunda mitad del siglo XX. Estos productos ofrecen ventajas y desventajas al utilizarlos. Entre las primeras destacan la rápida disponibilidad de los nutrientes, la facilidad para adquirirlos y aplicarlos. Entre las segundas la reducida eficiencia de aprovechamiento de los nutrientes, las pérdidas que de ellos ocurren y que ocasionan contaminación del aire, del suelo y del agua, además de los riesgos potenciales de afectación a la salud humana.

Para reducir o eliminar los riesgos, sin perder las ventajas que el uso de los fertilizantes ofrece, se ha desarrollado tecnología para que su uso se efectúe con la menor afectación ambiental. Destaca, entre esta tecnología, los fertilizantes de liberación lenta o controlada, que se caracterizan principalmente por liberar los nutrientes de manera paulatina, sincronizada con los requerimientos de nutrientes por la planta, lo cual representa ventajas como: menor lixiviación de nitratos y volatilización del amonio, contribuyendo así a reducir las emisiones de gases (N_2O) a la atmósfera, por consiguiente disminución de la contaminación ambiental (Wang y Alva, 1996).

1.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de la aplicación de fertilizantes de liberación lenta, minerales y orgánicos, sobre la absorción de nutrimentos y el crecimiento de plantas de *Agave angustifolia* Haw., así como sobre indicadores de calidad del suelo.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar los efectos de la aplicación de diferentes fuentes de fertilizantes minerales de liberación lenta sobre el crecimiento y nutrición de las plantas de *A. angustifolia*.
- Determinar los efectos de la aplicación de diferentes fuentes de abonos orgánicos sobre el crecimiento y nutrición de las plantas de *A. angustifolia*.
- Registrar la variación en parámetros físicos indicadores de la calidad del suelo al que se adicionaron fertilizantes de liberación lenta para el cultivo de *A. angustifolia*.
- Determinar la magnitud de pérdida de nitratos y nitritos por lixiviación provenientes de los fertilizantes aplicados.

1.3 Hipótesis

- La adición de diferentes fuentes de fertilizantes de liberación lenta minerales y orgánicos, influirá directamente sobre la magnitud de la absorción de nutrimentos y el crecimiento de plantas de *A. angustifolia*.
- Las variables indicadoras de la fertilidad y la calidad de suelos cultivados con *A. angustifolia* serán afectadas por la aplicación de fertilizantes de liberación lenta.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 *Agave angustifolia* en Oaxaca

Dentro de las especies mas importantes del género *Agave* por su utilización para la elaboración de bebidas destiladas como el mezcal, se encuentra el *Agave angustifolia* Haw. (“maguey espadín” o “maguey mezcalero”), además de que esta especie presenta una distribución ecológica amplia en Oaxaca, ya que se localiza en 21 distritos del estado, en un rango altitudinal que va de 50 a 2300 msnm y crece al menos en 4 tipos de vegetación (García – Mendoza, *et al.*, 2004).

A pesar de su amplia distribución, la mayor producción se obtiene en la “región del mezcal”, zona localizada en parte de las regiones de los Valles Centrales y la Sierra Sur, principalmente en los distritos de Yautepec, Miahuatlán, Sola de Vega, Tlacolula, Ejutla, Ocotlán y Zimatlán, ya que es donde el *A. angustifolia* se entra cultivado de forma intensiva (Palma, 1998; Espinoza *et al.*, 2002).

Granados (1993) menciona que la especie *A. angustifolia*, al ser la más utilizada como materia prima para la elaboración del mezcal, ha desplazado a muchos otros agaves mezcaleros.

La tendencia al empleo generalizado del *A. angustifolia* en el establecimiento de plantaciones se explica por su precocidad, mayor rendimiento y por la preferencia

que goza entre los productores de mezcal por su blandura y calidad del producto obtenido. A pesar de la gran importancia que el cultivo de esta especie representa para el estado de Oaxaca, se ha reportado que de 256 productores de maguey (cantidad que representa el 4 % del total de productores) sólo el 52% aplica algún fertilizante; de este total, el 80% aplica fertilizante orgánico y el 20% restante aplica fertilizante mineral, además de que la dosificación y frecuencia de aplicación se de los fertilizantes esta en función de las posibilidades económicas del productor, que de las recomendaciones técnicas, los requerimientos del cultivo y tipo de suelo, este ultimo de gran importancia, ya que la mayoría de los suelos donde se planta maguey son pobres en materia orgánica, nitrógeno y fósforo, y en terrenos planos además del maguey se siembra maíz y frijol, estableciéndose una fuerte competencia entre estos cultivos (Chagoya, 2004).

Arredondo *et al.* (2001), recomienda que la fertilización orgánica se puede realizar con estiércol, composta o microorganismos que ayudan en el crecimiento de las plantas. Para fertilizar una hectárea que tiene un promedio de 2,500 plantas de maguey, se necesitan; tres toneladas de composta (vermicomposta o lombriabono) y cinco kilos de micorrizas y fertilización química en dosis de 60-30-40. Sin embargo Chagoya, (2004) menciona que los pequeños productores de maguey, aplican estiércol de bovinos y caprinos, en cantidades variables según su disponibilidad; la cantidad aplicada fluctúa entre los 0.5 a 2 Kg por planta según su edad, predominando la aplicación sólo una vez durante el ciclo de vida del maguey. La fertilización química que comúnmente utilizan los productores de maguey son: la urea (46-00-00) y el sulfato de amonio (20.5-00-00).

A pesar de la gran importancia económica que el cultivo de maguey representa para el estado de Oaxaca, son escasas las investigaciones donde se han evaluado el efecto de fertilizantes minerales u orgánicos en el crecimiento y rendimiento del cultivo de maguey mezcalero.

2.2 Abonos orgánicos

El abono orgánico se define como un producto natural resultado de la descomposición de materiales de origen vegetal, animal o mixtos, que tienen la capacidad de mejorar la fertilidad del suelo, por ende la producción y productividad de los cultivos (Peña *et al.*, 2002).

2.1.1 Importancia

Peña *et al.* (2002), mencionan que los abonos orgánicos son de gran importancia en la fertilización del suelo, esto dependiendo de la naturaleza del abono, características del suelo, tipo de cultivo, periodicidad de la aplicación y cantidad aplicada del abono. Los abonos orgánicos proporcionan nutrientes, corrigen deficiencias, pues sólo contienen ingredientes naturales, y ayudan al desarrollo y crecimiento de las plantas, así como también influyen en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, como son:

1) Físicas: Producen sustancias y aglutinamientos microbianos que ayudan a mejorar la estructura del suelo, contribuyen a la estabilidad de los agregados, mejoran la porosidad del suelo, facilitando la aireación y respiración de las raíces,

regulan la temperatura del suelo, retienen la humedad, dan resistencia al encostramiento, evitan la erosión, mejoran la penetración de las raíces, aumentan la infiltración y permeabilidad del suelo.

2) Químicas: Mejoran la adsorción e intercambio de iones, intervienen en el ciclo biogeoquímico de nutrientes, liberan nutrientes a través de la mineralización, mejoran la capacidad amortiguadora del suelo frente a cambios en el pH, permiten la formación de complejos y quelatos.

3) Biológicas: Proporcionan energía y nutrientes para la microbiota y la microfauna del suelo, aumentan la actividad microbiana del suelo, estimulan el crecimiento vegetal, modifican la actividad enzimática, favorecen la respiración radical, mejoran los procesos energéticos de la planta, promueven la síntesis de reguladores del crecimiento vegetal (ácido giberélico), Poseen efectos antibióticos sobre patógenos, favorecen la síntesis de ácidos nucleicos y el CO₂ desprendido de su metabolismo favorece la solubilización de compuestos minerales.

2.3 Tipos de abonos orgánicos

2.3.1 Composta

Las compostas se definen como residuos de plantas y animales que, por medio de procesos microbiológicos realizados principalmente por bacterias y actinomycetos, han sufrido descomposición o degradación, bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación (Dalzell *et al.*, 1991 y Romero, 2000).

2.3.1.1 Efectos de la aplicación de composta

En las propiedades del suelo

Generalmente la aplicación de composta favorece las propiedades físico-químicas de los suelos al incrementar el contenido de materia orgánica y la disponibilidad de nitrógeno, fósforo, potasio y otros nutrientes para las plantas (Manzur, 1983).

En un estudio realizado por Daza *et al.* (2006), reportaron que el uso de la composta como abono orgánico hizo disminuir la retención de P por los de óxidos de Fe y Al, aumentando el P disponible en el suelo y el P total.

Chen *et al.* (1993), mencionan que la composta estabiliza la reacción del suelo, debido a su alto poder tampón, inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas, mejora la estructura, la porosidad, y por consiguiente la permeabilidad y aireación, reduce la erosión e incrementa la capacidad de retención de humedad, confiere un color oscuro en el suelo ayudando a la retención de energía calorífica y promueve el incremento y la diversificación de la comunidad microbiana del suelo.

La adición de composta reduce los efectos de la concentración de los plaguicidas en el suelo mediante la formación de enlaces de sus moléculas con las moléculas orgánicas (Dick y McCoy, 1993).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) también se favorece, Según Paino (1996), ya que en molisoles y oxisoles la CIC tuvo un relativo incremento al adicionar composta, mientras que cuando 26.5% de composta mezclada con un suelo inceptisol sólo se presentaron ligeros incrementos en la CIC. Los resultados obtenidos por este autor evidencian que el mayor aporte de la composta al incremento de la CIC fue en suelos oxisoles y molisoles, al pasar de 10.2 y 0.5 a 16.3 y 5.2 cmol Kg^{-1} respectivamente, después de 6 meses de aplicación. En inceptisoles el cambio fue muy ligero, al pasar de 34.5 a 36.6 cmol.Kg^{-1} .

En el estudio de Huang y Wang (1993), al comparar los efectos de la aplicación de diferentes proporciones de fertilizante orgánico (composta de estiércol) y fertilización mineral, mostró un incremento en los valores de la CIC, alcanzando un incremento en 3 cmol Kg^{-1} después de 2 años (6 cultivos). Las diferencias en los valores de la CIC fueron altamente significativas al tercer ciclo de cultivo. Similarmente, las diferencias entre el contenido de carbono orgánico del suelo fueron significativas entre los tratamientos después del segundo ciclo de cultivo (con y sin aplicación de fertilizante), con una evidente ventaja para los tratamientos con fertilización orgánica.

Fortuna *et al.* (2003) argumentaron que en los materiales compostados, el carbono se encuentra como materia orgánica particulada (MOP) hasta en un 85%, por lo que el aporte de composta a los suelos permite incrementar el carbono en la superficie hasta en un 45%, lo que ayuda a incrementar la estabilidad estructural, particularmente la de los macroagregados.

En los cultivos de *Agave angustifolia*

Pacheco y Vásquez (2005) encontraron que la incorporación de cantidades crecientes de abono orgánico promovió que las plantas de agave formaran mayor cantidad de hojas, de mayor longitud, anchura y peso fresco; tallos de mayor diámetro y peso fresco. Las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio en la materia seca foliar de agave incrementó significativamente cuando se aplicó abono orgánico, con valores de 1.20, 0.35, 1.78 y 0.97%, cantidades superiores a los valores de concentración en las plantas que no recibieron abono orgánico, que fueron de 0.66, 0.25, 0.77 y 0.43% respectivamente.

Hernández (2003), reporta que la proporción de abono orgánico en el sustrato, mostró que las plantas de *A. angustifolia* alcanzaron un mejor crecimiento en los sustratos que contenían mayor proporción de abono orgánico, debido a que en los sustratos con 25% de abono las plantas tuvieron una altura de 27.4 cm en promedio y en sustratos con 100% de abono alcanzaron una altura 32% superior.

2.3.2 Vermicomposta (Vc)

La vermicomposta producto de una serie de transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica al pasar por el tracto digestivo de las lombrices (Edwards *et al.*, 1985). Se considera un abono orgánico de fácil manejo y producción rápida en las plantas de composteo, tiene buenas características físicas, químicas, microbiológicas y nutrimentales (Kulkarni *et al.*, 1996).

2.3.2.1 Efectos de la aplicación de vermicomposta

En el suelo

Estudios realizados por Saichell y Martín (1984) demostraron que en el abono de lombriz existe la presencia de enzimas como fosfatasas, nitrogenasas y ureasas que ayudan a la mineralización y liberación de nutrientes al suelo, favoreciendo su disponibilidad para las plantas. También Galli *et al.* (1983), reportaron que el humus de lombriz presentó un mayor contenido de fitohormonas (citocianinas, giberelinas y auxinas), las cuales actúan como estimuladores del crecimiento y desarrollo de las plantas.

En un análisis de vermicomposta se encontró que el producto presentó las siguientes fitohormonas: citocininas con un nivel medio 0.80 – 1.22 μg equiv/g seco y giberelinas con un nivel medio de 1.80 - 2.75 μg equiv/g seco (Grappelli *et al.*, 1987).

La incorporación de vermicomposta al suelo ha logrado incrementar la presencia de microorganismos fijadores de nitrógeno, estimular de colonización micorrízica y la actividad microbiana, así como el contenido de nitrógeno total (Edwards y Fetcher, 1988; Kale *et al.*, 1992; Kretzchmar, 1992; Logsdon, 1994).

Mitchell y Alter (1993) señalan que la aplicación de vermicomposta a suelos ácidos incrementa el pH y disminuye la toxicidad por aluminio, ya que reduce su efecto hasta un 100%.

Ferreira *et al.* (1992), encontraron que la vermicomposta aumenta el rendimiento de materia seca en maíz al corregir el pH del suelo, concluyendo que a mayor cantidad de vermicomposta fue mayor el rendimiento.

Mora (2001) señala que los aportes de vermicomposta a los suelos agrícolas permiten incrementar el C orgánico, así como la biomasa microbiana, dando como resultado, a través del tiempo, una mejor fertilidad, agregación y estabilidad estructural. En este sentido Laird *et al.* (2001) sostienen que cuando se utilizan abonos orgánicos en el suelo se logra mejorar la estructura, y por otro lado mantener atrapado el C en el suelo, evitando así las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Nafate y Gutiérrez (2006), al realizar un experimento de producción orgánica de tomate, encontraron que las características del suelo mejoraron al aplicar mayor cantidad de vermicomposta, ya que el suelo utilizado aumentó la capacidad de retención de agua, el contenido de carbono orgánico y la conductividad eléctrica.

En la planta

Paquini-Rodríguez et al. (2003) reportaron que en plantas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch), la aplicación de vermicomposta promovió incrementos significativos de todas las variables de crecimiento, destacando el aumento en área foliar (835%), el peso seco de la parte aérea (1658%) y de raíz (1300%) y el número de brotes (700%) respecto a las plantas testigo. Asimismo, el contenido de potasio fue mayor en las hojas de las plantas que crecieron en presencia de vermicomposta.

La adición de vermicomposta en cantidades de 0, 20, 30 y 40 t ha⁻¹ dieron rendimientos de tomate de 114, 138, 163 y 192 t ha⁻¹, comparados con 56 t ha⁻¹ de tomates fertilizados mineralmente. La vermicomposta no únicamente aumentó el rendimiento, también redujo la infección del tomate por *Fusarium oxysporum* y aumentó los efectos de protección cuando se incrementó el porcentaje de vermicomposta (Szczzech, 1999).

En la producción orgánica de tomate, Nafate y Gutiérrez (2006) reportaron que en la primera cosecha la vermicomposta indujo el mayor incremento en la altura de la planta y el diámetro del tallo. En la segunda cosecha el tratamiento con la mayor dosis de vermicomposta produjo mayor rendimiento de tomate comerciable por planta, aumentando 1.8 veces comparado con el tratamiento control.

2.4 Fertilizantes minerales

De los 430 millones de toneladas de fertilizantes consumidos en el mundo en 1999, los de liberación lenta y controlada apenas fueron 595,000 t (0,15%). Los principales mercados fueron EEUU (437,000 t), Europa occidental (97,000 t) y Japón (61,000 t), y su uso fue principalmente no agrícola, es decir, hogares y jardines (25%), céspedes (35%) y viveros profesionales (32%) fueron los principales segmentos de mercado. Sólo el 8% se utilizó en agricultura convencional. La razón principal de la participación tan baja en el mercado es su precio. Los fertilizantes de liberación lenta o productos revestidos con polímeros son entre cuatro y 12 veces más caros que los productos solubles comunes. Por esta razón, solo los cultivos de alto valor admiten su uso sin un impacto importante en el costo de producción (Sainz *et al.*, 2000).

2.4.1 Fertilizantes de Liberación Lenta (FLL)

El objetivo final de los FLL es proporcionar ó suministrar los nutrientes a una tasa que coincida con la demanda de la planta, permitiendo que la disponibilidad de nutrientes sea constante en un período largo. Esto trae como consecuencia una máxima eficiencia en su utilización, y correlativamente disminuye la frecuencia de fertilización, de esa forma se reducen las pérdidas por degradación, volatilización y lixiviación de los nutrientes (AAPFCO, 1995; Benson, 1997; Kloth, 1996).

2.4.1.1 Ventajas

Los fertilizantes de liberación lenta ofrecen una serie de importantes ventajas respecto a los fertilizantes convencionales:

Liberan los nutrientes a una tasa que puede sincronizarse con los requerimientos por la planta, lo que permitirá una eficiente utilización de los mismos, con el consiguiente ahorro de producto y con ello se evita o minimiza la contaminación del suelo y del agua (Scotts, 1999).

Reducen significativamente las posibles pérdidas de nutrientes, especialmente el N nítrico, entre la aplicación del fertilizante y la absorción por las plantas, debido a una liberación gradual de los nutrientes a medida que la planta los necesita (Martin, 1999; Raigon *et al.*, 1996; Cadahía, *et al.*, 1993).

Disminución de la contaminación ambiental, reduciendo la lixiviación de N y volatilización del amonio, contribuyendo así a reducir las emisiones de gases (N_2O) a la atmósfera, por consiguiente reduce la contaminación del agua y aire (Wang y Alva, 1996).

La cantidad de trabajo destinado a realizar la fertilización disminuye, ya que se puede aportar una determinada cantidad de N con menos distribuciones que utilizando fertilizantes convencionales (Trenkel, 1997).

Se mejoran la eficiencia de la utilización del nitrógeno cuando utilizan fertilizantes de liberación lenta, además conduce a un incremento del rendimiento de los cultivos (Cadahía, *et al.*, 1993; Raigon *et al.*, 1990; Trenkel, 1997).

2.4.1.2 Desventajas

Falta de disponibilidad de métodos estabilizados que permitan disponer de un modelo confiable de liberación de nutrientes. La aplicación de fertilizantes de liberación lenta puede aumentar la acidez de la tierra. Ejemplo, al cubrir la urea con grandes cantidades de azufre contribuye al aumento de la acidez (Hall, 1996).

Otra desventajas de estos fertilizantes encapsulados o recubiertos es que puedan dejar residuos de material sintético en los campos, los cuales se descomponen muy lentamente o no llegan a descomponerse en la tierra produciendo esto una acumulación indeseable de residuos de plástico (hasta 50 kg ha⁻¹ en un año) (Kluge y Embert, 1996).

2.4.1.3 Factores que influyen en la liberación de los FLL

Shoji y Kanno (1994) citan algunos de los factores que influyen en el aporte de nutrientes por FLL:

- 1) Actividad microbiana: La acción de los microorganismos influye fundamentalmente en la disolución del fertilizante, por la acción que tienen éstos

sobre la cubierta. Existen algunos recubrimientos, como los plásticos, que no sufren el ataque de los microorganismos, pero los recubrimientos a base de azufre sí sufren daños. En los casos donde la acción de los microorganismos es muy intensa se incorporan a los recubrimientos sustancias microbidas que atenúan este ataque, retardando de esta manera la degradación de la cubierta.

2) Calidad del recubrimiento: Forma y tamaño del gránulo, % de recubrimiento, naturaleza del recubrimiento y presencia de grietas o agujeros. El recubrimiento es más eficaz cuanto más duro, homogéneo y resistente sea, sin embargo, las tecnologías más modernas apuntan a recubrimientos más delgados y más eficaces, haciendo de esta manera más eficiente la aplicación.

3) Medio de incubación: a) temperatura: incrementa la solubilidad de la sustancia fertilizante en agua, disminuye la persistencia del producto porque aumenta la velocidad de difusión del fertilizante hacia la solución del suelo, aumenta la velocidad de degradación del recubrimiento. Por otro lado, el aumento de la temperatura favorece la actividad de los microorganismos nitrificantes; b) pH del medio: este factor ejerce su influencia sobre el recubrimiento o sobre el lavado y absorción de los iones; c) textura del suelo: al aumentar el tamaño de las partículas disminuye la persistencia del producto; d) Contenido de materia orgánica: la eficiencia de los FLL aumenta con el contenido de MO, ya que el producto queda retenido y protegido por la materia orgánica; e) humedad, CIC y método de aplicación (Shoji y Kanno, 1994).

2.4.2 Tipos de fertilizantes minerales de liberación lenta

Los fertilizantes nitrogenados de liberación lenta pueden clasificarse en tres grupos: fertilizantes recubiertos, de baja solubilidad y con inhibidores de la nitrificación.

2.4.2.1 Recubiertos

Son fertilizantes convencionales que se presentan en forma de gránulos envueltos en una membrana (recubrimiento) semipermeable que está constituida por una sustancia insoluble o de baja solubilidad en agua. Las características del recubrimiento dependen del material, grosor, porosidad, siendo estos los que determinan el patrón de liberación de los nutrientes. Esta cubierta también debe tener una gran resistencia para evitar roturas, y con un espesor regular para obtener una liberación de los nutrientes uniforme. La disolución del fertilizante se produce lentamente conforme el agua va atravesando el recubrimiento. El recubrimiento se va rompiendo, debido al gradiente de presión osmótica, liberando los nutrientes de forma progresiva (FAO, 1986).

2.4.2.1.1 Tipos de recubrimiento

Diversos materiales para recubrir los fertilizantes han sido utilizados, incluyendo ceras, aceites, azufre, caucho, parafinas, plástico perforado y resinas. Las más comunes son las cubiertas polimeradas. Un polímero es un compuesto de alto

peso molecular derivado de la concentración de moléculas más pequeñas. Para fertilizantes de corta duración es recomendable una cubierta delgada y liviana, y para períodos de nutrición más largos cubiertas gruesas para entregas más balanceadas. Otro factor importante es el tamaño de la partícula, ya que posiblemente influye en la tasa de liberación de los nutrientes (FAO, 1986; Benson, 1997).

a) Recubrimientos de azufre: los fertilizantes recubiertos con azufre fueron una de las primeras tecnologías de fertilización controlada disponibles. La urea recubierta con azufre (SCU) libera nutrientes a través de la penetración del agua en las fallas, poros e imperfecciones de la película que cubre el fertilizante. Una vez que el agua ha penetrado, la urea disuelta es rápidamente liberada desde el gránulo. La tasa de entrega se encuentra controlada por el grosor y calidad de la cubierta del fertilizante (Goertz, 1993).

b) Recubrimientos de resinas: El factor que controla el aporte en los fertilizantes recubiertos con resinas plásticas es la diferencia de presión de vapor entre el interior y exterior del film que constituye la cápsula. Este tipo de recubrimiento no se ve afectado por las características físico-químicas o biológicas del suelo, ni por su contenido de agua. Solamente la temperatura influye en la velocidad de liberación (Jiménez, 1992).

c) Recubiertos plásticos: son obtenidos por polimerización de dicloropentanoide con un derivado oleoso de semillas de linaza, de esta forma se obtiene una resina

orgánica semipermeable que retarda la liberación del nutriente dependiendo de su grosor. Este tipo de fertilizante se conoce con el nombre de Osmocote. En este caso la liberación no se ve afectada por el pH.

c) Recubiertos encapsulados: Consiste en la encapsulación de los productos fertilizantes en polietileno perforado. La velocidad de dilución depende del número y diámetro de los orificios y el espesor de la cápsula.

2.4.2.2 De baja solubilidad

Son FLL que requieren gran cantidad de agua para su completa solubilidad, asegurando una baja concentración de nitrógeno en la disolución nutritiva. Pueden utilizarse productos orgánicos e inorgánicos. Entre los primeros destacan: urea-formaldehído, isobutilen diurea (IBDU), crotoniliden diurea (CDU), oxamida, etc. Los productos inorgánicos generalmente son fosfatos dobles de amonio y un metal, como es el caso del fosfato amónico-magnésico. Los compuestos de urea-formaldehído son polímeros resultantes de la condensación de la urea y el formaldehído. Estos polímeros se distinguen por el número de grupos metileno y el número de esqueletos de urea en la molécula. Son materiales granulares de color blanco y un contenido en nitrógeno que oscila entre el 38 y el 40 % (Lowrison, 1989).

2.4.2.3 Inhibidores de la nitrificación

Con este tipo de FLL se reducen las pérdidas de nitratos por lixiviación y desnitrificación y aumentan la eficiencia de fertilizantes amoniacales, así como la del nitrógeno amoniacal que se origina a partir de la descomposición de la materia orgánica en el suelo. La inhibición no debe ser total y estos productos deben ser selectivos, de forma que sólo actúen sobre los microorganismos nitrificantes, y no sobre otros microorganismos del suelo. Estos productos resultan muy efectivos en suelos arenosos para evitar el lavado de los nitratos, y en suelos encharcados para evitar la desnitrificación. Dicha persistencia depende fundamentalmente de tres factores: textura, temperatura y materia orgánica (Benson, 1997).

2.4.3 Efecto de la aplicación de FLL

En la planta

Plántulas de abeto occidental que fueron fertilizadas con 50 g de Nutricote® (16-8-9 NPK) al momento de plantación fueron significativamente más largas al tercer año, para los diversos grupos fertilizados en comparación a las plántulas que no recibieron fertilizante (Arnott y Burdett, 1988).

Cadahía *et al.* (1993) demuestran como la utilización de un fertilizante a base de IBDU® (20-5-10 NPK) como fertilización de fondo en fresa (*Fragaria ananassa*, cv.

Chandler) originó un incremento significativo del rendimiento respecto a un fertilizante convencional.

En un estudio para examinar la mineralización, nitrificación y lixiviación de N en un suelo forestal ácido, el FLL Nitroform[®] produjo un incremento en la disponibilidad de N mineral sin aumentar los niveles de nitrificación y disminuyendo los riesgos de lixiviación de NO₃ (Aarnio y Martikainen, 1996).

Arellano, (2003), al comparar el efecto de distintos FLL en plántulas de pino oregón en suelos arcillosos y condiciones de humedad, encontró que las plántulas fertilizadas con Wilgro[®] (27-10-10 NPK) presentaron una mejor respuesta en diámetro, altura y desarrollo radicular, especialmente bajo tratamiento de alto contenido de humedad en el suelo. En condiciones de estrés hídrico, ninguno de los fertilizantes utilizados mostró un efecto significativo sobre las plántulas.

En un experimento con un cultivo de olivar fertirrigado, comparando dos fuentes de fertilización nitrogenada, una basada en fertilizantes convencionales (NH₄NO₃) y otra con fertilizantes con el inhibidor DMPP (ENTEC[®] Solub 21). Los resultados demostraron que los árboles que fueron fertilizados con abonos con el DMPP (ENTEC[®]) desarrollaron brotes de mayor longitud y lo que es más importante, un mayor número de entrenudos, lo que incrementa el potencial productivo del árbol. En los dos años los frutos producidos fueron de mayor tamaño y mayor relación pulpa hueso (Linaje y Muños-Guerra, 2005).

2.5 Lixiviación de nutrientes

El nitrato (N-NO_3^-) es el contaminante más común en aguas superficiales (Freeze y Cherry, 1979) y, según Hallberg (1989), las actividades agrícolas son la mayor fuente del N-NO_3^- que llega a los mantos acuíferos. Estas pérdidas de nitratos en la agricultura están asociadas al tipo de suelo, tipo de cultivo, cantidad de agua de riego o lluvia y condiciones climáticas (Alva y Wang, 1996; Wu *et al.*, 1996). La dosis, método y momento de aplicación de la fertilización nitrogenada contribuye a la lixiviación de nitratos en muchos cultivos y además genera una pérdida económica para el productor, y un problema para el ambiente (Baker y Johnson, 1981; Diez *et al.*, 1997).

La mayor parte del nitrógeno aportado al suelo por medio de los fertilizantes se transforma en un plazo corto en nitrato, por la acción de las bacterias *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. El N-NO_3^- es muy móvil en el suelo debido a su elevada solubilidad y escasa retención por el complejo de cambio iónico, al tener el mismo tipo de carga eléctrica (Stumm y Morgan, 1981). En condiciones de elevadas precipitaciones o riego abundante se facilita su movimiento vertical en el perfil del suelo hacia profundidades alejadas de la raíz, donde el nitrato no puede ser absorbido por la planta, y finalmente es transportado por el flujo de agua hacia las corrientes subterráneas, fenómeno conocido como lixiviación (Embleton *et al.*, 1981; Legaz y Primo-Millo, 1992; Wild, 1992).

Las pérdidas de nitratos por lixiviación también se asocian a las características del suelo. El grosor, la textura y la magnitud del espacio poroso, capacidad de retención de agua, permeabilidad, son los máximos responsables del movimiento hacia abajo de los nitratos, bajo la influencia de una cantidad dada de agua añadida (Tisdale y Nelson, 1970; Faúndez, 2005).

2.5.1 Magnitud de la lixiviación de nitratos y nitritos bajo diversas condiciones de manejo agrícola.

Powell y Gaines (1994), en un estudio realizado del efecto de la textura del suelo en la lixiviación de nitrato, encontraron que la textura del suelo afectó la retención de N-NO_3^- y los suelos con mayor porcentaje de arcilla y materia orgánica conservaron mayor cantidad de N-NO_3^- que la arena, por lo tanto el suelo arenoso fue pobre en nitrato puesto que la retención fue baja.

Arias *et al.* (2004) encontraron que los incrementos en el contenido de arena aumentaron significativamente las cantidades de nitrógeno recuperado en columnas de lixiviación, en tanto que las alteraciones en el contenido de materia orgánica sólo afectaron la capacidad para retener nitratos. Se considera que la textura y contenido de materia orgánica de los suelos son factores importantes en relación con la lixiviación, ya que la capacidad de intercambio iónico de un suelo es principalmente una función de la clase y cantidad de arcilla y materia orgánica.

El efecto de la fertilización y el riego sobre la lixiviación de nitratos en dos suelos (Haplustol arídico), presentó un aumento en la concentración de N-NO_3^- luego de

la aplicación del fertilizante. La concentración elevada de N-NO_3^- , en el muestreo inicial, estuvo más influenciada por la aplicación del agua de riego y la ocurrencia de lluvias (Angella *et al.*, 2002).

Muñoz-Carpena *et al.* (2002) en su investigación de contaminación por nitratos en plataneras regadas por aspersión, encontraron que el contenido de nitrógeno perdido por lixiviación se transporte hacia los manantiales y al acuífero. Estas pérdidas se concentran en periodos de fertirrigación excesiva y/o lluvias intensas. Esto se corresponde con los valores determinados en los pozos de la zona donde se encuentran niveles altos de contaminación, superiores a $50 \text{ mg L}^{-1} \text{ NO}_3^-$.

Mary (1997), concluyen que una parte del N proveniente del fertilizante recientemente incorporado al humus del suelo está potencialmente más disponible que el N orgánico de la materia orgánica estable del suelo. Está probado que cuanto mayor sea el nivel de fertilización, más aumentará la reserva de N fácilmente mineralizable y más fuerte será la mineralización de N orgánico. Es probable, entonces esperar un aumento en la contaminación con nitratos debido a un posible aumento de la mineralización edáfica. Pero hay que tener en cuenta que este efecto se manifestará en el largo plazo.

Pacheco *et al.* (1986) concluyen de una investigación, que el fraccionamiento de la fertilización nitrogenada no sólo induce pérdidas menores de nitrato, sino también de Mg, Ca y K.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

El trabajo se desarrolló en el campo experimental del CIIDIR-IPN Unidad Oaxaca, ubicado a 5 Km al sur de la ciudad de Oaxaca, en el municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, localizado geográficamente a 17° 01' 33" latitud norte y 96° 12' 10" longitud oeste, a una altitud de 1'545 msnm. Limita al norte con los municipios de Oaxaca de Juárez y San Martín Mexicapam, al sur con San Raymundo Jalpan y Cuilapam de Guerrero, al este con San Antonio de la Cal, San Agustín de las Juntas y Animas Trujano, y al oeste con San Andrés Ixtlahuaca y Santa María Atzompa (INEGI, 1998).

El trabajo constó de dos experimentos; el primero para evaluar el efecto de diferentes fertilizantes de liberación lenta en la nutrición y el crecimiento de plantas de *Agave angustifolia* Haw.; el segundo para determinar la magnitud de la lixiviación de nitratos y nitritos por efecto de la aplicación de diferentes fertilizantes a plantas de *Agave* en macetas con diferentes suelos.

3. 2 Experimento I

Efecto de la aplicación de diferentes fertilizantes en la absorción de nutrientes y el crecimiento de plantas de *Agave angustifolia* Haw.

3.2.1 Obtención del material vegetal

La metodología utilizada para la obtención de las plantas de *Agave* fue la citada por Arredondo y Espinosa (2005). Los agaves se obtuvieron de una plantación ubicada en la comunidad de Agua del Espino, distrito de Ejutla, Oaxaca. Se seleccionaron plantas de *A. angustifolia* provenientes de hijuelos rizomatosos que presentaban características similares de edad, tamaño y sanidad. A las plantas se les eliminó la raíz utilizando tijeras de podar, así mismo se realizó la desinfección de los agaves mediante su inmersión durante cinco minutos en una solución de hipoclorito de sodio al 0.624%.

3.2.2 Establecimiento en invernadero

Para el establecimiento de las plantas de *Agave* en invernadero lo primero que se hizo fue esterilizar arena por medio del proceso de solarización, mediante la metodología descrita por Stapleton y Devay (1985). Posteriormente las plántulas fueron colocadas verticalmente con la base de su tallo sobre arena húmeda previamente desinfecta durante un periodo de una semana para formación de callo. A continuación fueron plantadas en arena húmeda por dos semanas para la brotación de primordios radicales, realizando riegos ligeros cada tercer día.

3.2.3 Análisis de suelo y abonos orgánicos

Al inicio del experimento se tomaron muestras de suelo de la parcela donde se establecieron los agaves para su análisis físico-químico. Lo mismo se hizo para la composta y la vermicomposta utilizadas en el ensayo experimental, utilizando los métodos indicados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Análisis físico-químico del suelo antes del trasplante de los agaves

<i>Parámetro</i>	<i>Método utilizado</i>	<i>Materiales analizados</i>		
		Composta	Vermicomposta	Suelo
pH	Potenciómetro	4.93	7.37	7.53
Densidad aparente (g cm ⁻³)	Probeta	0.493	0.975	1.54
Materia Orgánica (%)	Walkey y Black	19.477	8.809	0.218
Nitrógeno total (%)	MicroKjeldahl	0.784	0.67	0.01
Fósforo extraíble (mg Kg ⁻¹)	Olsen y Bray	56.3	422	20.5
Capacidad de retención de humedad (%)	Gravimétrica, columnas de percolación	163.3	52.60	20.8
Textura	Bouyoucos			% Arena 90.4 % Arcilla 3.6 % Limo 6.0

2.2.4 Establecimiento en campo

Los agaves fueron plantados el 28 de febrero de 2006, en surcos con distancia de 3 m entre surco y surco, y distancia entre planta y planta 1.5 m. En el momento de la siembra se realizó la primera aplicación de composta y vermicomposta. Después del trasplante se aplicó un riego uniforme, posteriormente se aplicó un

riego por semana en el periodo del 28 de febrero al 1° de mayo de 2006. Desde el 28 de agosto de 2006 se continuaron los riegos hasta 20 de febrero del 2007.

3.2.4 Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño trifactorial 2x4x2, mas un testigo, con arreglo en bloques completos al azar. Se establecieron 17 tratamientos con 10 repeticiones cada uno, la unidad experimental fue una planta.

Se utilizó el modelo general lineal como modelo estadístico del experimento (Infante y Zárate, 1984).

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha_k + \alpha_i\beta_j + \alpha_i\alpha_k + \beta_j\alpha_k + \alpha_i\beta_j\alpha_k + \varepsilon_{ijkl}$$

$$i = 1, 2, \dots, A$$

$$j = 1, 2, \dots, B$$

$$k = 1, 2, \dots, C$$

$$l = 1, 2, \dots, r$$

Donde:

y_{ijkl} = Es la respuesta observada bajo el i-esimo nivel del factor A, el j-esimo nivel del factor B y el k-esimo nivel del factor C, en la l-esima repetición.

μ = Es la media general del experimento

α_i = Es el efecto del i-esimo tratamiento

β_j = Es el efecto del j-esimo nivel del factor B

α_k = Es el efecto del k-esimo nivel del factor C

$\alpha_i\beta_j$ = Es el efecto de la interacción entre el i-esimo nivel del factor A y el j-esimo nivel del factor B.

$\alpha_i\alpha_k$ = Es el efecto de la interacción entre el i-esimo nivel del factor A y el k-esimo nivel del factor C

$B_j\alpha_k$ = Es el efecto de la interacción entre el j-esimo nivel del factor B y el k-esimo nivel del factor C.

$\alpha_iB_j\alpha_k$ =Es el efecto de la interacción triple entre los factores A,B,C.

ϵ_{ijkl} = Es el error experimental

Los factores y niveles de estudio:

A) Fertilización orgánica, con dos niveles: 1) Composta y 2) Vermicomposta.

B) Fuentes de fertilizantes de liberación lenta (FLL), con cuatro niveles: 1) Sin fertilización; 2) Turf Builder® (57–33–34 NPK); 3) Numi Fer® (10–5–15 NPK) complementado con fosfato diamonico 18-46-00 y 4) Miracle-Gro® (29–3–4 NPK) complementado con sulfato de potasio 00-00-32 y fosfato diamonico 18-46-00. La dosis de fertilización que se utilizo fue la sugerida por Arredondo *et al* (2001), 60 – 30 – 40 (NPK Kg ha⁻¹) considerando 2 500 plantas ha⁻¹. La fertilización se realizó colocando el fertilizante en ambos lados del *Agave* (Figura 1), el cual fue cubierto con suelo.



Figura 1. Aplicación a plantas de *A. angustifolia* de abonos orgánicos y FLL

C) Momento de aplicación de la cantidad total de los abonos y fertilizantes, con dos niveles: 1) única aplicación; 2) repartida en dos aplicaciones. Los agaves que recibieron una sola aplicación de composta y vermicomposta, se les aplicó el 28 de febrero de 2006, y los que recibieron una sola aplicación de FLL el 12 de Junio de 2006. Los agaves que recibieron dos aplicaciones de composta y vermicomposta, se les aplicó el 28 de febrero y el 28 de agosto de 2006; la aplicación de los FLL se realizó el 12 de junio y el 12 de octubre de 2006.

Cuadro 2. Tratamientos aplicados en el experimento I

<i>Tratamientos</i>	<i>Cantidad aplicada por planta Orgánica – FLL (g)</i>
Testigo	0-0
C-SF-1	400- 0
C-TB-1	400-160
C-NF-1	400-120
C-MG-1	400-80
C-SF-2	400- 0
C-TB-2	400-160
C-NF-2	400-120
C-MG-2	400-80
V-SF-1	400- 0
V-TB-1	400-160
V-NF-1	400-120
V-MG-1	400-80
V-SF-2	400- 0
V-TB.2	400-160
V-NF-2	400-120
V-MG-2	400-80

C= Composta, V= Vermicomposta, TB=Turf Builder, NF= Numi Fer y MG= Miracle-Gro. FLL= Fertilizantes de Liberación Lenta, 1 = cantidad total del fertilizante en una aplicación y 2 = cantidad total del fertilizante repartida en dos aplicaciones.

Dosis de referencia para la fertilización (Arredondo *et al.*, 2001) 1) Orgánica: composta y vermicomposta, 1 ton ha⁻¹, considerando 2 500 plantas de *Agave* por ha; 2) Mineral: 60 – 30 – 40 (NPK, kg ha⁻¹).

3.2.6 Variables de respuesta

A) Variables de respuesta en los agaves

Se tomaron datos cada tres meses de altura y número de hojas de cada una de las plantas, después de 12 meses se cosecharon los agaves para evaluar las siguientes características:

1.- Características del tallo. Para medir el diámetro del tallo se cortaron las hojas a una distancia de un cm de la base del tallo, el cual fue medido en la parte media utilizando un vernier digital Mitutoyu (modelo CD-12 CP CAP).



Figura 2. Parte del tallo seleccionado para tomar la lectura del diámetro.

Para medir el contenido de Sólidos Solubles Totales ($^{\circ}$ Brix) se tomó una muestra de masa vegetal del centro del tallo, la cual se macero para la obtención de una gota de líquido de tallo y finalmente la cuantificación de $^{\circ}$ Brix se realizó con un refractómetro portátil marca Zeigen modelo ZRP-214 (figura 3).



Figura 3. Parte del tallo de agave seleccionada para la cuantificación de °Brix utilizando el refractómetro.

Para registrar el peso fresco y el peso seco se utilizó una balanza analítica Sartorius LP 620P. Antes de registrar el peso seco de tallo esto fueron secados en una estufa (Thermolyne Oven Series 9000) a 65 °C hasta peso constante.

2- Características de la hoja: se contabilizó el número de hojas desplegadas. La estimación del área foliar se realizó considerando la lámina vegetal como un triángulo y su área calculada por el producto de las medidas de la base y la altura. Se calculó un factor de ajuste con una muestra de dos hojas intermedias en posición opuesta por planta (figura 4) (en total 340 hojas), las cuales fueron dibujadas en papel y se tomó la medida de la base y altura de cada hoja.



Figura 4. Posición de hojas intermedias que fueron cortadas

Para estimar el valor del factor se realizó lo siguiente:

Cálculo del área foliar en función del peso (W); para calcular el área por medio del peso los dibujos de las hojas de agave se recortaron y se secaron en una estufa a 60 °C por una hora, posteriormente fueron pesados en una balanza analítica, así también se recortaron cuadros de papel con medidas de 1, 4 y 16 cm², 10 cuadros por cada tamaño, que también fueron secados y pesados. Finalmente, con estos últimos pesos se calculó un promedio por tamaño de cuadro y un promedio general, que fue de 0.0074841666 g cm⁻². Con este valor y el peso del papel en el que se dibujaron las hojas se procedió a calcular el área por medio del peso, de la siguiente manera:

$$1\text{cm}^2 \text{---} 0.0074841666 \text{ g}$$

$$X \text{---} 1.18 \text{ g (W del dibujo de una hoja)}$$

$X=157.66 \text{ cm}^2$ (este procedimiento se realizó para calcular el área de cada hoja). Una vez calculada el área de cada hoja se obtuvo un promedio general de 159.137 cm^2 .

Área calculada con medidas de la base y altura; con los datos de base y altura se calculo el área de cada una de las hojas utilizando la fórmula del triangulo ($b \times h/2$) obteniendo un promedio general de 81.597 cm^2 .

El factor de ajuste para la estimación de área foliar utilizando datos de base y altura de las hojas se obtuvo dividiendo el área calculada con la geometría del triángulo entre el área calculada con base en el peso: $81.597 \text{ cm}^2 / 159.137 \text{ cm}^2 = 0.513$.

Peso de hojas; Para registrar el peso fresco y el peso seco de las hojas de *Agave* se utilizó una balanza analítica Sartorius LP 620P. Antes de registrar el peso seco las hojas fueron secadas en estufa (Thermolyne Oven Series 9000) a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ hasta peso constante.

El análisis de nutrimentos (N, P, K, Ca, Mg) se realizó utilizando la parte media (figura 5) de dos hojas intermedias de cada planta, además se formaron pares de muestras de cada tratamiento para que finalmente se obtuvieran cinco repeticiones. Para el análisis se utilizaron los métodos indicados en el cuadro 3.

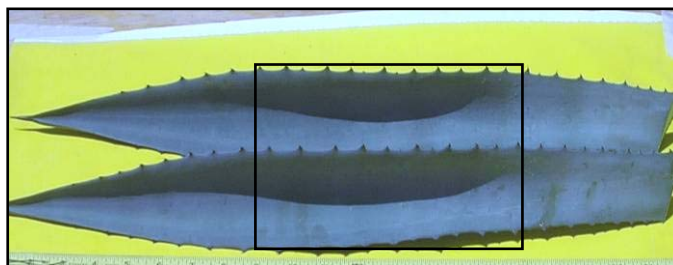


Figura 5. Parte de las hojas de agave utilizada para el análisis de nutrimentos

Cuadro 3. Métodos utilizados en el análisis químico de material vegetal.

Nutrientes analizados	Método
Nitrógeno	Digestión-destilación microKjeldahl
Fósforo	Espectrofotometría visible Vanadomolibdato
Potasio	Colorimetría
Calcio y Magnesio	Volumetría EDTA

3.- Hijuelos: Se contabilizó el número de hijuelos producidos por cada una de las plantas al final del experimento.

B) Variables de respuesta del suelo donde fueron cultivados los agaves

- pH (Potenciometría, suspensión suelo:agua destilada)
- Conductividad Eléctrica (Conductimetría)
- Materia orgánica (Oxidación húmeda, Walkey y Black)
- Densidad aparente (Probeta)
- Capacidad de retención de humedad (Columna de percolación)
- Velocidad de percolación (Columna de percolación)
- Contenido de agregados hidroestables (Gravimetría, tamizado húmedo)

La determinación de agregados hidroestables se realizó utilizando la técnica de Kemper y Rosenau (1988 modificada por Bethlenfalvay y Barea 1994). Se tomaron 30 g de suelo seco al aire y tamizado a 2 mm, colocándolos cuidadosamente sobre un tamiz de malla de 1 mm de abertura colocado sobre otro de malla 0.5 mm de abertura. Posteriormente se sumergieron los tamices rápido pero cuidadosamente en un recipiente con agua, efectuando un movimiento descendente-ascendente rectilíneo con un recorrido constante de 10 cm, a una velocidad de 25 recorridos completos por minuto durante tres minutos. Se pasaron cuantitativamente los agregados de ambos tamices a papel filtro Whatman, previamente pesado, por separado. Se secaron en la estufa a 110 °C por 24 h.. Estos agregados se volvieron a colocar en los tamices correspondientes y se repitió el proceso de movimiento descendente – ascendente, ahora en agua que contenía 2 g de NaCl L⁻¹, esto se realizó con la finalidad de destruir los agregados y eliminar las partículas menores a 1 mm y 0.5 mm respectivamente. Al final, en los tamices quedaron únicamente las arenas mayores a este tamaño, que fueron pesadas otra vez en papel filtro, secadas y pesadas nuevamente. Para calcular los agregados al primer peso registrado se le resta el segundo. El contenido de agregados se calculó en porcentaje, con base en el peso de suelo seco utilizado.

3.2.7 Análisis de datos

Con los datos obtenidos de cada variable se realizó el análisis de la varianza, comparación de medias de acuerdo al diseño experimental. El análisis se realizó utilizando el programa SAS (Statistical Analysis System, 1999).

3.3 Experimento II

Este experimento se estableció para determinar la magnitud de la lixiviación de nitratos y nitritos por efecto de la aplicación de diferentes fertilizantes a plantas de *Agave* en macetas con tres diferentes suelos.

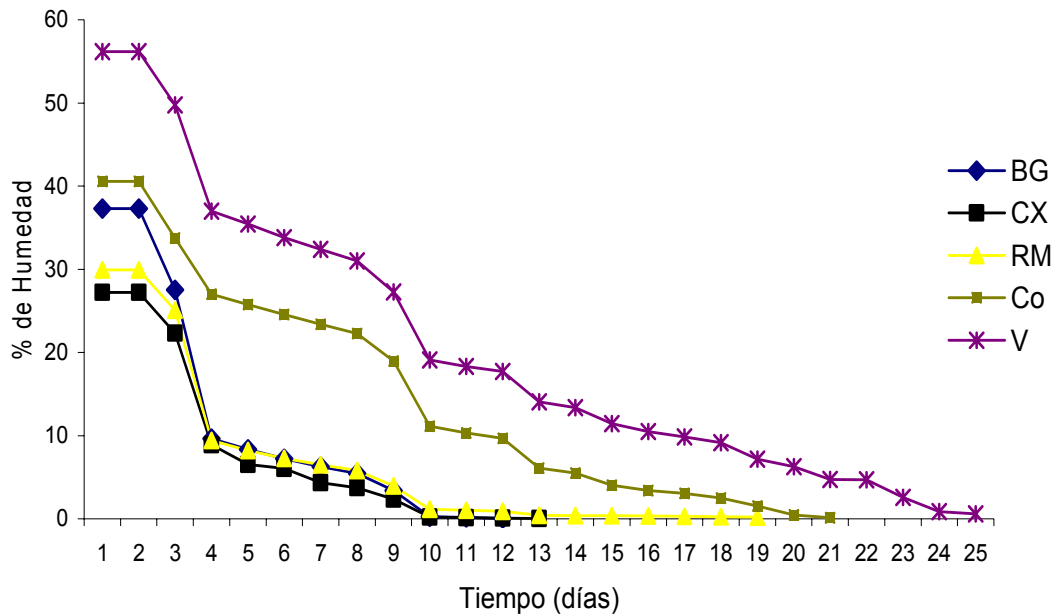
3.3.1 Obtención del suelo

Los suelos utilizados fueron muestras compuestas obtenidas por muestreo simple aleatorio de las comunidades Reyes Mantecón (RM), San Baltasar Guelavila (BG) y Santa Cruz Xoxocotlán (CX). En el Cuadro 4 se reportan las propiedades físico-químicas de los suelos.

Cuadro 4. Propiedades físico-químicas de los suelos.

<i>Propiedad</i>	<i>Método utilizado</i>	<i>Suelos analizados</i>		
		CX	RM	BG
Ph	Potenciómetro	7.53	8.26	5.68
Densidad (g cm ⁻³)	Probeta	1.54	1.55	1.38
MO (%)	Walkey y Black	0.22	1.09	2.18
Nitrógeno (%)	MicroKjeldah	0.010	0.054	0.108
Fósforo (mg Kg ⁻¹)	Olsen y Bray	20.5	16.3	13.0
Textura	Bouyoucos	Arenosa	Arena francosa	Arena francosa
C.E (dS m ⁻¹)	Conductímetro	0.083	0.071	0.045
Retención de humedad (%)	Columnas de percolación	20.8	36.5	37.2

CX= suelo Santa Cruz Xoxocotlán, RM= suelo de Reyes Mantecon y BG= suelo de San Baltasar Guelavila.



CX= suelo Santa Cruz Xoxocotlán, RM= suelo de Reyes Mantecon y BG= suelo de San Baltasar Guelavila.

Figura 6. Curva de secado de los diferentes suelos y abonos orgánicos utilizados

3.3.2 Obtención del material vegetal.

Los agaves se obtuvieron utilizando la metodología descrita por Arredondo y Espinosa (2005), como se menciona en los apartados 3.2.1 y 3.2.2.

3.3.3 Establecimiento del experimento

La unidad experimental fue una maceta de 2 L de capacidad, a la cual se le colocó papel filtro en la base y se llenó con 2 Kg de suelo. La aplicación de los productos fertilizantes se hizo al momento del trasplante, de acuerdo al tratamiento correspondiente. Para la aplicación de composta y vermicomposta la dosis equivalente utilizada fue 1 ton ha^{-1} , considerando una densidad de 2500 plantas de

Agave ha⁻¹. La aplicación de estos abonos se realizó mezclándolos con los 2 kg de suelo que se le adicionaron a la maceta. La dosis para la aplicación de los FLL fue de 60 – 30 – 40 (NPK) Kg ha⁻¹ (Arredondo y Espinoza., 2005).

La fertilización con los FLL Turf Builder® (57-33-34 NPK), Numi Fer® (10-5-15 NPK) complementado con fosfato diamónico (18-46-00) y Miracle-Gro® (29-3-4 NPK) complementado con sulfato de potasio 00-00-32 y fosfato diamónico 18-46-00, se hizo homogeneizando los diferentes productos y mezclando los fertilizantes en los primeros 3 cm del suelo de la maceta. Después del transplante se aplicaron riegos (300 mL de agua por maceta) una vez por semana, procurando un riego lento para evitar que ocurriera lixiviación. Durante el periodo de evaluación las macetas de *Agave* permanecieron bajo invernadero.

3.3.4 Diseño experimental

El experimento se estableció de acuerdo a un diseño factorial completo 3x6 con arreglo en bloques completos al azar. Se ensayaron 18 tratamientos (Cuadro 5) con cuatro repeticiones cada uno, la unidad experimental fue una planta en cada maceta (figura 7).



Figura 7. Distribución de los tratamientos

Cuadro 5. Tratamientos aplicados en el experimento II

<i>Tratamientos</i>	<i>Cantidad de fertilizante aplicado por maceta (g)</i>
CX-SF	----
CX-Co	400
CX-V	400
CX-TB	160
CX-NF	120
CX-MG	80
RM-SF	----
RM-Co	400
RM-V	400
RM-TB	160
RM-NF	120
RM-MG	80
BG-SF	----
BG-Co	400
BG-V	400
BG-TB	160
BG-NF	120
BG-MG	80

Suelo de Santa Cruz Xoxocotlán (CX), Suelo de Reyes Mantecón (RM), Suelo de San Baltasar Guelavila (BG), SF= control sin fertilización, Co = Composta, V =Vermicomposta, TB =Turf Builder, NF = Numi Fer y M-G = Miracle-Gro. FLL = Fertilizantes de Liberación Lenta.

3.3.5 Variables de respuesta

A) Lixiviación de nitratos y nitritos de las macetas

Se promovieron dos procesos de lixiviación, el primero a los dos meses y el segundo a los cuatro meses después de la fertilización. Para la obtención de la muestra, a cada maceta se aplicó un riego con 600 mL de agua de la llave, inmediatamente después del riego se colectó el percolado en frascos de plástico de 600 mL de capacidad y se llevaron al laboratorio, en donde se almacenaron en refrigeración (4-6°C) hasta su análisis.



Figura 8. Obtención de la muestra para el análisis de nitratos y nitritos.

El análisis de nitratos se realizó utilizando la norma NMX-AA-079-SCFI-2001 que describe el método espectrofotométrico utilizando sulfato de Brucina, la absorbancia fue leída a 410 nm en un espectrofotómetro Spectronic modelo 21D.

El análisis de nitritos se realizó con el método del reactivo de Zambelli, la absorbancia de nitritos fue leída a 435 nm en el espectrofotómetro.

B) Nitratos y nitritos en tejido foliar de plantas de *Agave*

Para realizar el análisis de nitratos y nitritos en tejido foliar, a cada planta se le cortaron dos hojas desplegadas intermedias en posición opuesta a los 145 días después del trasplante, posteriormente se secaron a 65°C en una estufa Thermolyne Oven Series 9000 hasta peso constante, se molieron en un molino PULVEX® mini 100. La extracción de nitratos y nitritos del tejido foliar se realizó con ácido acético al 2% (Carlson, *et al.*, 1990). Para la determinación de nitratos se utilizó la metodología de sulfato de Brucina y para nitritos el método del reactivo de Zambelli, descritos anteriormente.

3.3.6 Análisis de los datos

Con los datos obtenidos de cada variable se realizó un análisis de la varianza y comparación de medias. El análisis fue realizado utilizando el programa SAS (Statistical Analysis System, 1999).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Experimento I

4.1.1 Características evaluadas en las plantas de *Agave angustifolia*

4.1.1.1 Altura de la planta

Crecimiento en altura de *A. angustifolia* por efecto de la fertilización orgánica

La fertilización orgánica ya sea con composta o vermicomposta tuvieron efecto similar sobre el crecimiento en altura de plantas de *A. angustifolia* (Figura 9). Los modelos de ajuste para el comportamiento del crecimiento en altura indican una tasa promedio mensual de 0.618 y 0.628 cm para composta y vermicomposta, respectivamente, los cuales son estadísticamente iguales entre sí. El testigo mostró promedios de 45.97 mayo, 52.1 agosto, 56.7 noviembre y 58.2 cm en febrero, que representa 1.8, 0.6, 3.4 y 5.4 cm menos comparados con las plantas que fueron fertilizadas con vermicomposta, esto sugiere que la aplicación de fertilización orgánica si promueve ligeros aumentos en el crecimiento en las plantas de *Agave angustifolia*.

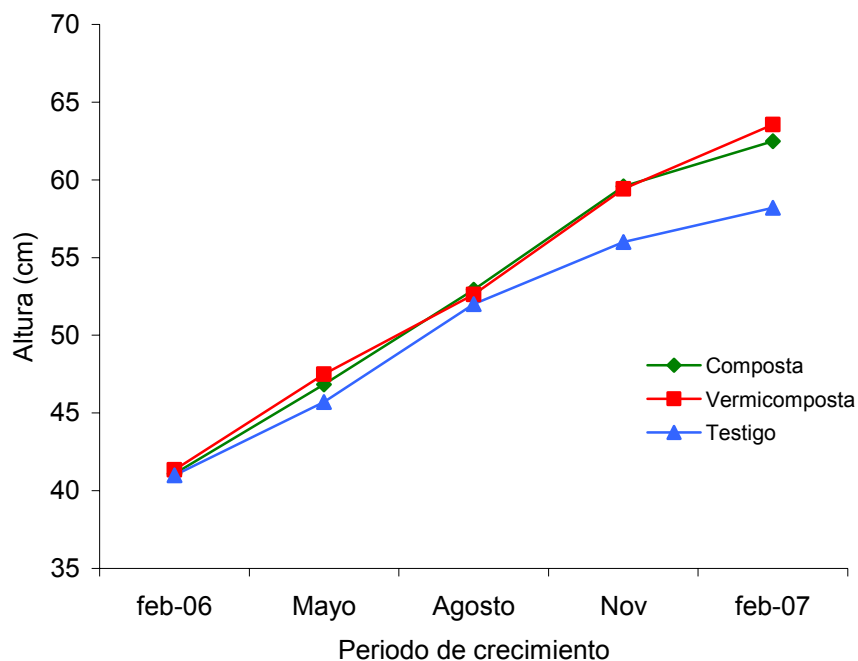
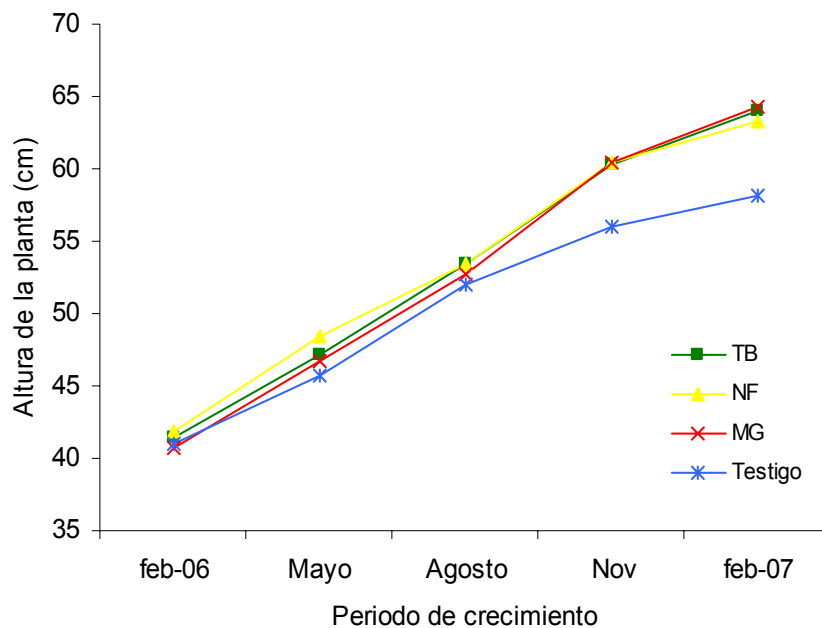


Figura 9. Efecto de la fertilización orgánica en el crecimiento en altura de plantas de *Agave angustifolia*.

Crecimiento de la altura de plantas de *Agave* por efecto de la fertilización mineral con fertilizantes de liberación lenta

La aplicación de fertilizantes de liberación lenta (TB, NF y MG) a plantas de *A. angustifolia*, contribuyó para que éstas alcanzaran un mayor en altura a lo largo de todo el año de evaluación, comparado con testigo que registraron las menores alturas a lo largo de todo el periodo (Figura 10). Aunque entre los productos aplicados no se registraron diferencias de su efecto sobre el crecimiento vegetal, sin embargo TB promovió para que las plantas de agave tuvieran una mayor altura de 47.21 mayo, 53.36 agosto, 60.45 noviembre y 63.24 cm en febrero, promedios que superan al testigo con 1.24, 1.26, 3.78 y 5.04 cm de altura respectivamente.

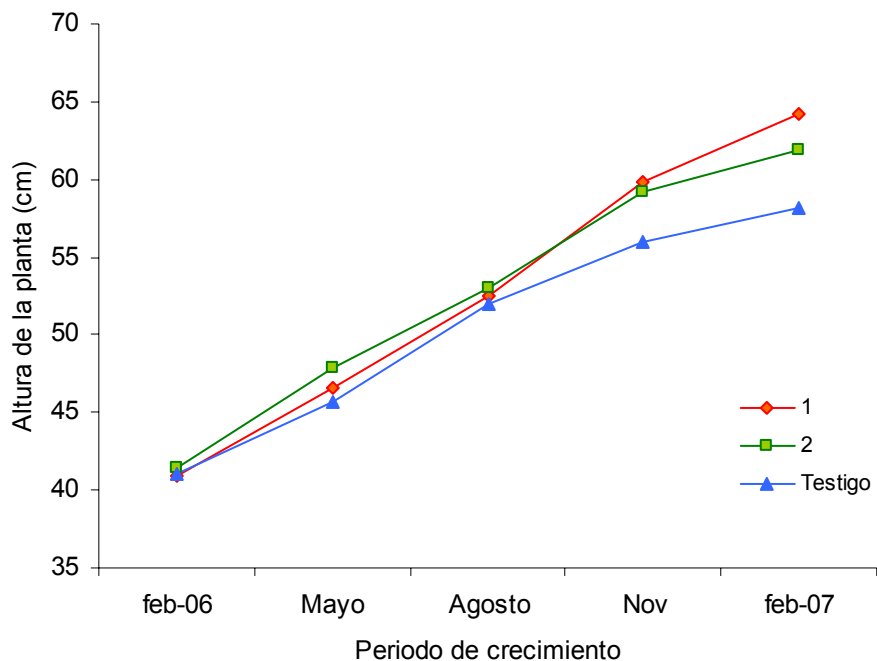


TB=Turf Builde®, NF= Numi Fer ® y MG= Miracle-Gro®

Figura 10. Efecto de la aplicación de fertilizantes de liberación lenta la altura de plantas de *Agave angustifolia*.

Crecimiento de la altura de plantas de *Agave* por efecto del momento de aplicación de la fertilización

Las plantas de *Agave angustifolia* mostraron mayor crecimiento en altura cuando la cantidad total de los fertilizantes aplicados fue realizada en un solo momento, como se observa en la figura 11, comparado con las plantas que recibieron la fertilización repartida en dos momentos, aunque de manera no significativa la diferencia sea de tan solo 3.32 cm. Mientras que las plantas que corresponden al tratamiento testigo siempre mostraron los menores promedios, esto indica la fertilización ya sea un solo momento o en dos si ayuda a un mejor crecimiento de los agaves.



1= aplicación de los fertilizantes en un solo momento y 2= aplicación de los fertilizantes en dos momentos.
 Figura 11. Efecto del momento de aplicación de la cantidad total de los fertilizantes en la altura de plantas de *Agave angustifolia*.

Incremento final de la altura

La aplicación los diferentes tratamientos de fertilización orgánica, fertilizantes de liberación lenta y momentos de aplicación, en las plantas de *Agave angustifolia*, no mostraron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 6) en el incremento de altura después de un año de evaluación. La falta de efectos significativos de los factores en estudio posiblemente se haya debido a que todas las plantas recibieron riego a lo largo del periodo de evaluación, puesto que bajo condiciones de no deficiencia de agua las plantas con metabolismo CAM, como lo son los agaves, se encuentran dentro de las más productivas y con crecimiento favorable, en cambio bajo condiciones severas de deficiencia de agua las plantas con este

tipo de metabolismo sólo son capaces de mantener una tasa de crecimiento pequeño y de esa manera no comprometen su supervivencia (Black, 1986).

Otero *et al.* (2000), en un experimento de efecto del riego en *Agave fourcroydes* en fase de vivero, encontraron que el riego promovió diferencias significativas en la altura final de las plantas, en comparación con el testigo que no recibió agua. Las plantas que recibieron riego alcanzaron una altura de 45 - 50 cm a los 12 meses de establecido, mientras que el testigo alcanzó una altura de 37.77cm en el mismo período de tiempo, concluyendo que la aplicación de riego favoreció el aumento en la altura del henequén en época de sequía, acortándose así la fase de vivero. En trabajos realizados en vivero (Otero *et al.*, 2000) con sisal (*A. sisalana*), planta similar al henequén, el tamaño de las plantas se duplicó con irrigación, obteniéndose los efectos más pronunciados a los 6 meses de edad.

La comparación 8 (Anexo 17) mediante contrastes ortogonales mostró que el incremento en altura de la plantas de *Agave angustifolia* fue significativamente diferente en respuesta al momento de aplicación de vermicomposta y FLL, ya que cuando estos fertilizantes se aplicaron en un solo momento la altura de la plantas incremento en promedio 26.06 cm, mientras cuando se aplicaron en dos momentos sólo incrementaron 20.5 cm.

Cuadro 6. Incremento en altura de la plantas de *Agave angustifolia* que recibieron fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta, en una o dos aplicaciones.

<i>Factores</i>	<i>Niveles</i>	<i>Incremento en altura (cm)</i>
Fertilización orgánica	C	21.65 a ± 1.08
	V	22.42 a ± 1.02
Fertilizantes minerales de liberación lenta (FLL)	SFLL	20.03 a ± 1.50
	TB	23.26 a ± 1.72
	NF	21.39 a ± 1.44
	MG	23.46 a ± 1.20
Momento de aplicación de la cantidad total de los fertilizantes	1	23.34 a ± 1.01
	2	20.73 a ± 1.07

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales Tukey ($\alpha=0.05$) por cada factor de estudio. C= Composta, V= Vermicomposta, SFLL=sin fertilizantes de liberación lenta, TB=Turf Builde®, NF= Numi Fer® y MG= Miracle-Gro®, 1 = una aplicación y 2 = repartida en dos aplicaciones.

4.1.1.2. Parámetros evaluados en las hojas

Número de hojas desplegadas de *A. angustifolia* por efecto de la fertilización orgánica

El comportamiento de esta variable por efecto de la aplicación de fertilización orgánica fue similar para ambos productos, composta y vermicomposta, pero comparadas con el testigo las plantas fertilizadas con vermicomposta presentaron dos hojas más la final de la evaluación (Figura 12). Es de resaltar que en el periodo mayo-noviembre la tasa de producción foliar fue mayor, esto

probablemente se deba a que en esos meses se concentró la mayor parte de la temporada de lluvia, lo que resultó un factor promotor, ya que de febrero-mayo y noviembre- diciembre se observa un comportamiento diferente, a pesar de que se aplicó riego una vez por semana, lo que no llegó a ser equivalente a la precipitación que se recibió en el sitio experimental, por tanto podemos decir que el riego tiene influencia en la producción foliar en plantas de *A. angustifolia*. Generalmente los agaves se distribuyen en zonas áridas y semiáridas, donde las condiciones de humedad y precipitación son escasas, lo cual es un factor limitante de crecimiento por lo que estas plantas presentan adaptaciones para hacer un uso más eficiente del agua restringiendo su actividad metabólica (CAM), por tanto se considera que al facilitarle la disponibilidad de agua la planta responda con una mayor y mas eficiente actividad metabólica.

El uso de la ruta fotosintética C3 permite que algunas plantas CAM maximicen la ganancia de carbono cuando las condiciones ambientales son favorables, en particular, cuando aumenta la disponibilidad de agua en el medio de crecimiento (Cushman, 2001; Pimienta-Barrios *et al.*, 2002, 2005; Keeley y Rundel, 2003).

José (1995) encontró que los agaves de cuatro y ocho años el desarrollo de hojas nuevas de *A. angustifolia* se relaciona con factores del medio como: temperatura, irradiación y precipitación, ya que desarrollaron mayor número de hojas en los meses con mayor precipitación y por consecuencia mayor humedad en el suelo; mientras que la producción de hojas decreció en un 100% en los meses con escasa precipitación y bajas temperaturas. De igual manera las tasas máximas de

fijación neta de CO₂ se obtuvieron en los meses con mayor precipitación. La misma autora considera que la apertura estomatal está directamente relacionada con cambios en el contenido de agua y temperatura celular, y no con la cantidad o capacidad de fijación de CO₂.

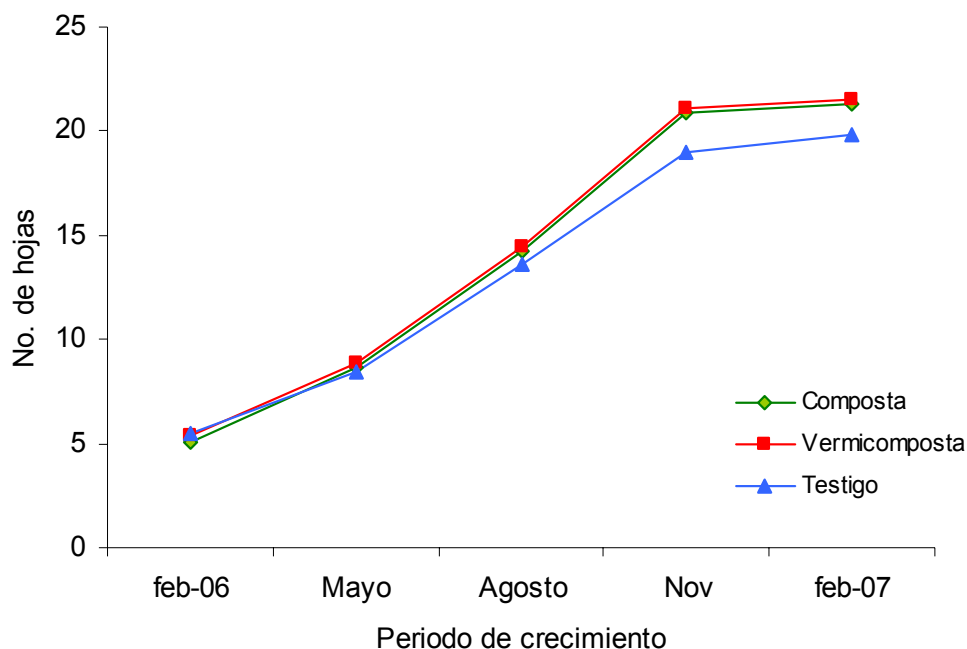
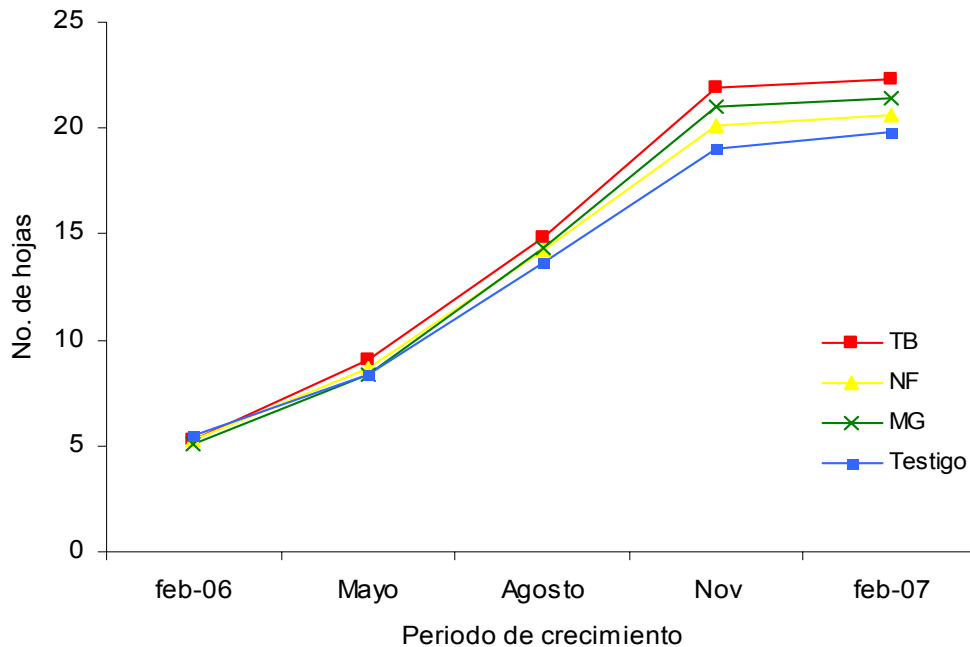


Figura 12. Efecto de la fertilización orgánica en el desarrollo de hojas en plantas de *Agave angustifolia*.

Número de hojas desplegadas *A. angustifolia* por efecto de la fertilización mineral con fertilizantes de liberación lenta

La aplicación de FLL a plantas de *A. angustifolia* mostró un comportamiento similar a lo ocurrido con los productos orgánicos, el número de hojas desplegadas fue mayor en los meses de mayo-noviembre. Para esta variable, solamente el

producto TB promovió valores mayores que el tratamiento testigo aunque de manera no significativa, en todos los meses del periodo evaluado, (Figura 13).

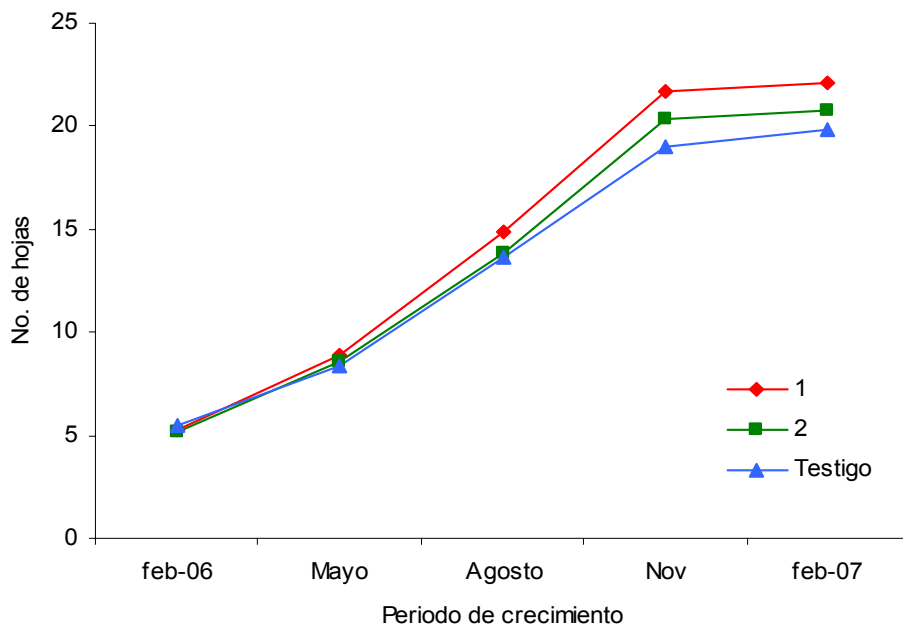


TB=Turf Builde®, NF= Numi Fer ® y MG= Miracle-Gro®

Figura 13. Efecto de la aplicación de fertilizantes de liberación lenta en el desarrollo de hojas en plantas de *Agave angustifolia*.

Número de hojas desplegadas *A. angustifolia* por efecto del momento de aplicación de los fertilizantes

En la figura 14 se observa que las plantas de *Agave angustifolia* que recibieron la cantidad total de fertilizante en un solo momento de aplicación desarrollaron mensualmente mayor número de hojas que aquellas a las que el fertilizante se les adicionó en dos aplicaciones y comparado con el las plantas del tratamiento testigo presentó de manera no significativa dos hojas más al final del periodo de evaluación.



1= aplicación de los fertilizantes en un solo momento y 2= aplicación de los fertilizantes en dos momentos.
 Figura 14. Efecto del momento de aplicación de la cantidad total de los fertilizantes en el desarrollo de hojas en plantas de *Agaave angustifolia*.

Efecto de la fertilización orgánica en las variables evaluadas en hojas de *A.angustifolia*

La aplicación de composta y vermicomposta a las plantas de *Agave angustifolia* no promovió efectos en todas las variables evaluadas en las hojas (número de hojas, área foliar, peso fresco y peso seco), aunque las plantas a las que se aplicó composta se observó una tendencia a tener hojas con mayor promedio en área y peso seco (Cuadro 7).

La comparación 1 (Anexo 17) mediante contrastes ortogonales mostró que el incremento en número de hojas fue significativamente diferente en respuesta a la aplicación de fertilizantes, ya que las plantas que recibieron algún tipo de

fertilizantes orgánico o mineral o ambos incremento 16.2 hojas, y aquellas que no recibieron fertilización incrementaron 14.3 hojas. Así mismo en el contraste ortogonal 8 (Anexo 17) se encontraron diferencias significativas para la formación de nuevas hojas, ya que al aplicar vermicomposta y FLL en un solo momento las plantas incrementaron 17.4 hojas mientras que las plantas que recibieron los mismos fertilizantes pero en dos momentos incrementaron 14.9 hojas.

Efecto de los fertilizantes minerales de liberación lenta (FLL) en las variables
evaluadas en hojas de *A. angustifolia*

Con la aplicación de FLL no se registraron efectos significativos en el incremento del número de hojas desplegadas y área foliar; sin embargo las plantas sometidas al tratamiento TB fue el que presentó 17 hojas y 727.5 cm² de área foliar, superando a las plantas del tratamiento testigo con cuatro hojas y 153.0 cm² de área foliar (Anexo 16). En cambio, si presentó diferencias estadísticas significativas en las variables peso fresco y peso seco de las hojas de *Agave, angustifolia* encontrando que las plantas a las que se aplicaron los productos TB, NF y MG superaron al promedio de las plantas que no recibieron fertilizantes de liberación lenta (SFLL). Las plantas que recibieron el fertilizante de liberación lenta TB presentaron estadísticamente el mayor promedio de peso fresco (1613.4 g) y de peso seco (307.0 g), estos valores superaron a las plantas del tratamiento SFLL con 355.4 y 75.8 g respectivamente (Cuadro 7). Por tanto, para todas las variables evaluadas en las hojas de *Agave* el tratamiento que mejor respuesta promovió fue TB, ya que se obtuvieron los mayores valores promedio.

La comparación 4 (Anexo 17) mediante contrastes ortogonales mostró que el peso fresco y seco de hojas de *Agave angustifolia* fue significativamente diferente en respuesta a la combinación de fertilizantes de FLL y vermicomposta, ya que las plantas que recibieron la combinación de estos fertilizantes presentaron 1513.47 y 292.24 g de peso fresco y seco, mientras que las plantas que fueron fertilizadas con vermicomposta pero sin FLL presentaron significativamente menores promedios de peso fresco y seco (1213.95 y 219.54 g) respectivamente.

Efecto del momento de aplicación de los fertilizantes (Mo) en las variables
evaluadas en hojas de *A. angustifolia*

La aplicación de los fertilizantes en un solo momento o su fraccionamiento en dos momentos no promovió efectos en el incremento del número de hojas, peso fresco y peso seco en hojas de *Agave angustifolia*, aunque se observa una tendencia (cuadro 7), cuando las plantas recibieron el fertilizante en un solo momento estas variables obtuvieron promedios mayores que cuando se aplicó el total del fertilizante en dos momentos. Sin embargo al menos para el área foliar si se encontraron diferencias estadísticas significativas, obteniéndose la mayor área cuando el fertilizante se aplicó en un solo momento, el cual superó en 73.56 cm² de área al promedio de las plantas que se fertilizaron en dos momentos. En este caso se trata de una variable muy importante, ya que esta relacionada directamente con la fotosíntesis, actividad de gran importancia fisiológica, ya que se espera que al existir mayor área foliar haya mayor capacidad de fotosíntesis, lo cual favorece a la síntesis de carbohidratos. Nobel *et al* (1998) mencionan que la

fotosíntesis, junto con la respiración, determinan en gran parte la cantidad de los azúcares que se forman en las hojas y posteriormente se transportan y almacenan en el tallo (piña) de los agaves.

La comparación 8 (Anexo 17) mediante contrastes ortogonales mostró que el área foliar de plantas de *Agave angustifolia* fue significativamente diferente en respuesta al momento de aplicación de vermicomposta y FLL, ya que cuando estos fertilizantes se aplicaron en un solo momento el área foliar fue de 764.1cm², mientras cuando se aplicaron en dos momentos sólo presentaron 627.13 cm² de área foliar.

De manera general podemos afirmar que, para el cultivo de *Agave angustifolia*, en las condiciones en que se realizó el trabajo, el momento en que se aplicó la dosis del fertilizante si promovió respuestas, aunque no se hayan presentado efectos significativos en todas las variables evaluadas, en las hojas de agave se observaron los mayores promedios cuando el fertilizante se aplicó en un solo momento. Las evidencias recogidas con este trabajo apuntan a que posiblemente, para que se puedan observar efectos estadísticos por el factor analizado, se debe considerar un periodo de evaluación mayor que el considerado en este experimento, debido a que se trata de un cultivo de ciclo largo.

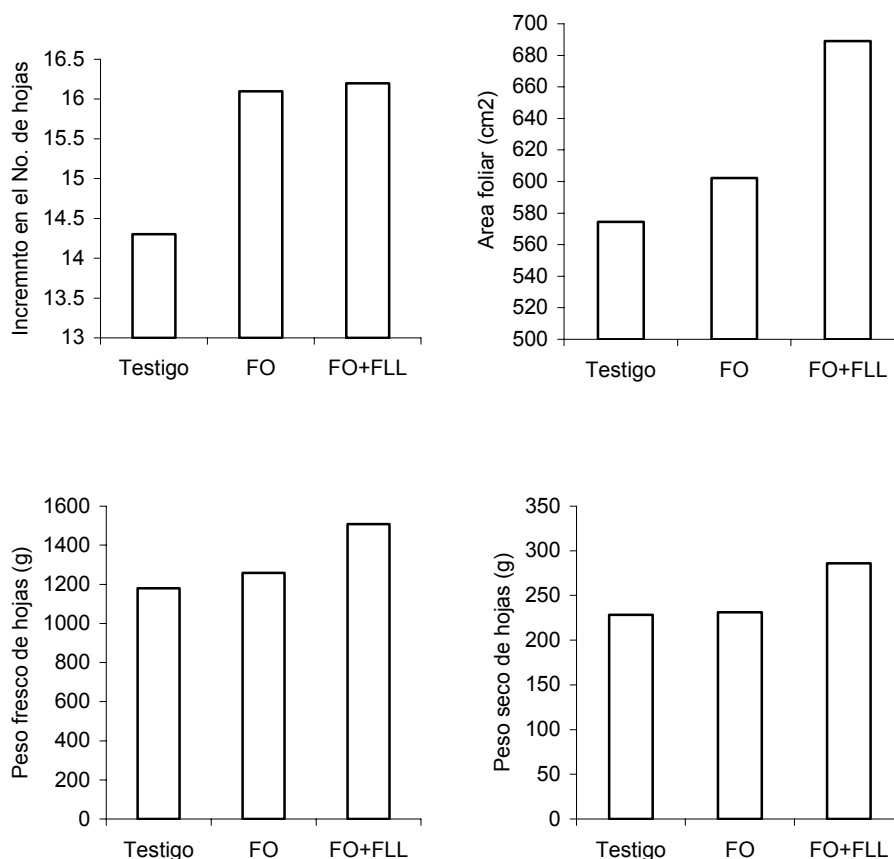
Cuadro 7. Variables evaluadas en hojas de plantas de *Agave angustifolia* en respuesta a la fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta, en una o dos aplicaciones.

Factores	Niveles	Variables evaluadas			
		Incremento de No. de hojas	Área foliar (cm ²)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
FO	C	16.18 a ± 0.48	668.54 a ± 22.71	1453.54 a ± 62.76	270.44a ±12.39
	V	16.21 a ± 0.48	670.69 a ± 28.02	1438.59 a ± 65.43	274.07a ±12.92
FLL	SFLL	16.1 a ± 0.77	611.4 a ± 34.28	1258.0 b ± 89.08	231.2 b ± 17.38
	TB	17.0 a ± 0.57	727.5 a ± 34.53	1613.4 a ± 92.98	307.0 a ± 17.68
	NF	15.3 a ± 0.78	654.9 a ± 41.75	1436.3 ab ± 92.37	270.1ab ±16.75
	MG	16.3 a ± 0.57	684.7 a ± 31.24	1476.5 ab ± 80.90	280.8ab ±18.07
Mo.	1	16.83 a ± 0.44	706.40 a ± 25.52	1488.23 a ± 58.69	283.54a ±11.42
	2	15.56 a ± 0.51	632.84 b ± 24.81	1403.90 a ± 68.79	260.96a ±13.67

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales Tukey ($\alpha=0.05$) por cada factor. FO= Fertilización Orgánica, FLL= Fertilizantes minerales de liberación lenta y Mo= Momento de aplicación de la cantidad total de los fertilizantes; C= Composta, V= Vermicomposta, SFLL= sin fertilizantes de liberación lenta, TB=Turf Builder®, NF= Numi Fer ® y MG= Miracle-Gro®; 1 = Una aplicación y 2 = Repartida en dos aplicaciones.

En la figura 15 se observan los promedios de las variables evaluadas en las hojas de *Agave angustifolia* por tipo de fertilización (orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta) comparados con el promedio de las plantas del tratamiento testigo. En la variable incremento en número de hojas el testigo tuvo en promedio 2 hojas menos que a aquellas que recibieron ya se FO o FLL. Para las variables área foliar, peso fresco y peso seco las plantas que recibieron fertilización con FO+FLL presentaron los mayores promedios 689.0 cm², 1580.0 g y 285.96 g,

promedios que superaron al testigo con 19.93, 27.90 y 25.30 % área foliar, peso fresco y seco respectivamente.



FO= Fertilización orgánica y FLL= Fertilizantes de liberación lenta

Figura 15. Características evaluadas en hojas de plantas de *Agave angustifolia* que recibieron fertilización orgánica y orgánica más mineral con fertilizantes de liberación lenta.

4.1.1.2.1 Concentración foliar de nutrientes

Efecto de la fertilización orgánica en la concentración foliar de nutrientes en plantas de *A. angustifolia*

En el análisis de macronutrientes, las hojas de las plantas que recibieron fertilización orgánica de composta y vermicomposta no se registraron efectos

significativos en la concentración de P, K, Ca y Mg, pero sí la hubo para la de N, observándose que las plantas que recibieron fertilización de composta tuvieron la mayor concentración de N (0.856%), mientras que con vermicomposta presentaron una menor concentración de N 0.807 %. (Cuadro 8).

El sustrato composta cuando se aplicó combinado con TB en una sola fecha las plantas acumularon en sus hojas 0.909 % de N, cantidad que fue significativamente superior a 0.815 % de N que en promedio tuvieron las hojas de las plantas que recibieron NF y MG (contraste ortogonal 9, Anexo 19).

La comparación 10 (Anexo 19) mediante contrastes ortogonales para la concentración de N en hojas de *Agave* mostró efectos altamente significativos en respuesta a la aplicación de TB y composta en dos momentos, que promovió para que las plantas de *Agave angustifolia* acumularan en sus hojas 0.972 % de N, cantidad que fue significativamente superior a 0.808 % de N que en promedio tuvieron las hojas de las plantas que recibieron NF y MG.

La aplicación de vermicomposta combinada con TB en un solo momento de aplicación también presentó efectos altamente significativos 0.753 % de N, ya que cuando se aplicó vermicomposta ya sea con NF ó MG las plantas contenían en promedio una concentración significativamente mayor (0.878 %) de N, (Contraste ortogonal 11, Anexo 19).

Los valores observados para N son inferiores a los reportados por Hernández (2003), este autor encontró que cuando las plantas de *Agave angustifolia* fueron fertilizadas con composta la concentración de N fue de 1.78% en promedio, mientras que las que fueron fertilizadas con vermicomposta tuvieron un valor de 1.98%, valores superiores a los encontrados en este trabajo. Esta diferencia de valores quizá se deba el origen del abono orgánico o grado de madurez del mismo, así como la obtención de la planta, ya que para este experimento se utilizaron hijuelos rizomatosos y en el experimento de Hernández se trata de plantas obtenidas por cultivo *in vitro*. Pero también las diferencias se podrían explicar por la forma en que se establecieron los experimentos: Hernández (2003) estableció las plantas en contenedores, mientras que en el presente trabajo se establecieron en campo.

En estudios de fertilidad y nutrición de agaves se ha dado mayor énfasis al nitrógeno, debido a que este es el elemento que absorben en mayor cantidad, y además es el que tiene mayor influencia en el crecimiento de estas plantas (Nobel, 1988).

Efecto de la aplicación de fertilizantes de liberación lenta (FLL) en la concentración foliar de nutrimentos en plantas de *A. angustifolia*

El análisis de varianza no mostró efectos significativos para la concentración de nutrimentos con el factor FLL. Los promedios de concentración nutrimental obtenidos con cada uno de los tres fertilizantes de liberación lenta resultaron

estadísticamente iguales a los del tratamiento control. Sin embargo al realizar contrastes ortogonales se encontró lo siguiente:

El contraste ortogonal 10 (Anexo 19) mostró que la aplicación de TB con composta en dos momentos mostró diferencias significativas, puesto que las plantas presentaron 0.412 % de P, comparado cuando se aplicó ya sea con NF ó MG combinados con la composta en dos momentos tuvieron en promedio 0.265 % de P. También el contraste ortogonal 16, mostró diferencias significativas por efecto de la aplicación de NF con vermicomposta en dos momentos, ya que con esta combinación los agaves tuvieron 0.484% de P, cantidad que fue significativamente mayor a los 0.320 % de P que tuvieron las hojas de las plantas que recibieron la vermicomposta con MG en dos momentos.

Para la concentración de calcio en hojas de agave la comparación 14 (Anexo 19) mediante contrastes ortogonales mostró efectos altamente significativos en respuesta a la aplicación de NF con e abono orgánico composta en dos momentos, donde las hojas de los agaves tuvieron 1.220 % de calcio, cantidad significativamente mayor a los 1.048 % de Ca en las hojas de las plantas fertilizadas con composta y MG en dos momentos.

Efecto del momento de aplicación (MO) de la cantidad total de los fertilizantes en la concentración foliar de nutrimentos en plantas de *A. angustifolia*

El momento de aplicación de la cantidad total del fertilizante sólo promovió diferencias significativas ($\alpha=0.05$) en la concentración de P, observando que cuando la fertilización se aplicó en dos momentos, las plantas de *Agave angustifolia* absorbieron una mayor cantidad de P, aumentando la concentración en 0.065% más que cuando los agaves recibieron la fertilización en un solo momento.

La comparación 5 (Anexo 19) de contrastes ortogonales para la concentración de fósforo en las hojas de *Agave angustifolia* tuvo efectos significativos en respuesta al momento de aplicación de la composta, ya que cuando las plantas solo se fertilizaron un vez tuvieron menor promedio (0.269 %) de P, comparado con los 0.299 % de P que tuvieron las plantas a las que se aplicó la composta en dos momentos.

El momento de aplicación de composta con FLL, en la comparación 7 (Anexo 19) mediante contrastes ortogonales también mostrarón efectos significativos, dado que los agaves que fueron fertilizados en un solo momento tuvieron menor contenido de P (0.222 %) en sus hojas, mientras que al fertilizarlas en dos momentos obtuvieron mayor promedio (0.314 % P). Comportamiento similar ocurrió con las plantas fertilizadas con vermicomposta y FLL, cuando se aplicó en un solo momento las plantas tuvieron menor porcentaje de fósforo (0.250 %), comparado cuando se aplicó el fertilizante en dos momentos donde las hojas de las plantas tuvieron 0.374 % de P.

El momento de aplicación de vermicomposta en la comparación 6 (Anexo 19) mediante contrastes ortogonales mostró diferencias altamente significativas para la concentración de magnesio en hojas de *Agave angustifolia*, cuando la vermicomposta se aplicó en un solo momento las hojas de las plantas presentaron 0.298 % Mg en promedio, cantidad estadísticamente superior a los 0.261 % de Mg que tenían las hojas de las plantas que fueron fertilizadas con vermicomposta en dos momentos.

Cuadro 8. Concentración foliar de macronutrientes analizados en tejido foliar de plantas de *Agave angustifolia* que recibieron fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta, en una o dos aplicaciones.

Factores	Niveles	Macronutrientes evaluados (%)				
		N	P	K	Ca	Mg
FO	C	0.856a ± 0.02	0.284a ± 0.02	1.370a ± 0.04	1.044a ± 0.04	0.306a ± 0.02
	V	0.807b ± 0.01	0.325a ± 0.02	1.404a ± 0.06	1.191a ± 0.06	0.279a ± 0.02
FLL	SFLL	0.827a ± 0.02	0.345a ± 0.02	1.395a ± 0.06	1.038a ± 0.03	0.289a ± 0.02
	TB	0.855a ± 0.02	0.305a ± 0.03	1.483a ± 0.08	1.152a ± 0.10	0.283a ± 0.02
	NF	0.815a ± 0.02	0.305a ± 0.04	1.348a ± 0.09	1.155a ± 0.09	0.276a ± 0.03
	MG	0.831a ± 0.02	0.263a ± 0.03	1.321 ^a ± 0.06	1.123a ± 0.08	0.323a ± 0.02
Mo.	1	0.845a ± 0.02	0.272b ± 0.02	1.337 ^a ± 0.05	1.128a ± 0.06	0.305a ± 0.02
	2	0.819a ± 0.01	0.337a ± 0.02	1.437a ± 0.06	1.106a ± 0.06	0.280a ± 0.02

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales Tukey ($\alpha=0.05$) por cada factor. FO= Fertilización Orgánica, FLL= Fertilizantes minerales de liberación lenta y Mo= Momento de aplicación de la cantidad total de los fertilizantes; C= Composta, V= Vermicomposta, SFLL= sin fertilizantes de liberación lenta, TB=Turf Builder®, NF= Numi Fer ® y MG= Miracle-Gro®; 1 = Una aplicación y 2 = Repartida en dos aplicaciones.

La comparación de las concentraciones de nutrimentos en hojas de *Agave angustifolia* por efecto del tipo de fertilización, mostró que la aplicación de FO y FO+FLL promovieron para que las plantas de *Agave* presentaran concentraciones (%) similares de nutrimentos (0.826 y 0.833 N, 0.344 y 0.291 P, 1.395 y 1.384 K, 1.038 y 1.143 Ca y 0.289 y 0.294 Mg). Los promedios de las plantas fertilizadas con FO+FLL superaron con 9.60, 18.77, 16.59, 4.95 y 22.29 % a las plantas de *Agave angustifolia* correspondientes al testigo (Figura 16).

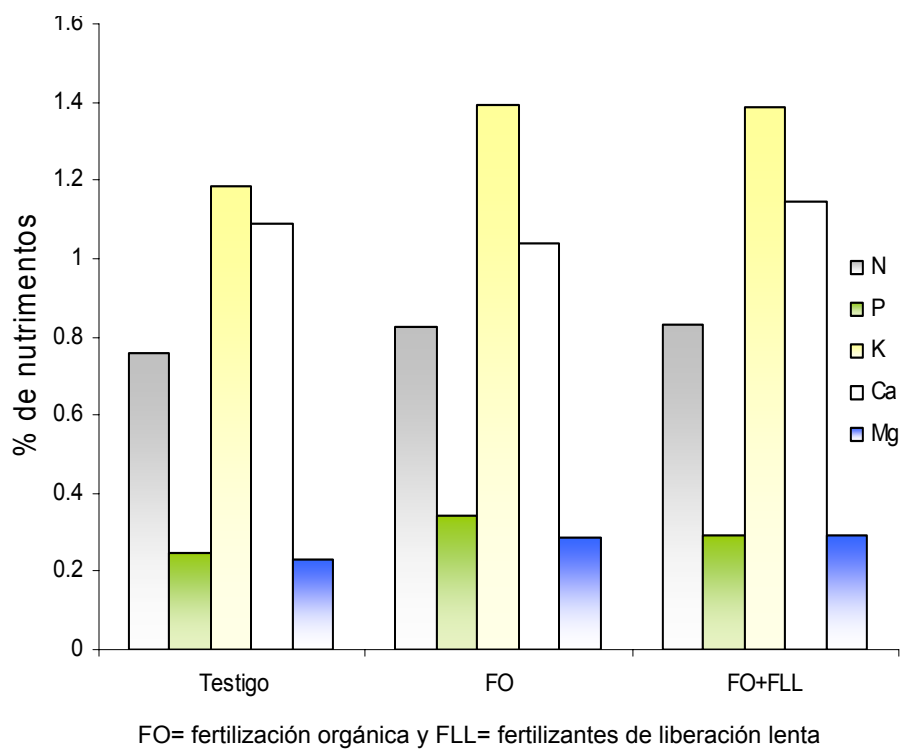


Figura 16. Concentración de nutrimentos en hojas de plantas de *Agave angustifolia* que recibieron fertilización orgánica y orgánica mas mineral con fertilizantes de liberación lenta.

4.1.1.3 Parámetros evaluados en el tallo

Efecto de la fertilización orgánica en las variables evaluadas en tallos de plantas

A. angustifolia

La aplicación de FO no presentó efectos en las variables diámetro, peso fresco y peso seco de tallo, pero si para grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$), obteniendo la mayor concentración de sólidos solubles totales las plantas que fueron fertilizadas con composta (C), presentaron 26.2 $^{\circ}\text{Bx}$ y las que recibieron vermicomposta 24.8 $^{\circ}\text{Bx}$. También las fertilizadas con composta fueron las que presentaron el porcentaje de nitrógeno más alto en el análisis de nutrimentos en hojas. Resultados que concuerdan Mussett y Díaz (2000), ya que ellos mencionan que cuando existe buena disponibilidad de N se favorece el incremento de la concentración de azúcares en las plantas de *Agave angustifolia*.

El análisis de azúcares en las piñas de agave es importante porque el alcohol obtenido en la fermentación depende la cantidad de azúcares reductores, en las fabricas de elaboración de tequila se practican dos tipos de análisis; determinación de azúcares reductores y medición de grados Brix. Los $^{\circ}\text{Bx}$ representan una escala arbitraria para medir densidades de soluciones de azucares y equivalen al porcentaje en peso de sólidos solubles en una muestra, que principalmente son azucares, los cuales se miden con un refractómetro, con el cual se determina el índice de refracción de un haz de luz que atraviesa el medio en el cual se encuentran los azúcares (Potter, 1995).

La determinación rápida y confiable de °Bx, es muy importante, porque permite tomar dediciones en la compra de materia prima (piñas de *Agave*) para la elaboración de bebidas. A pesar de la gran importancia y confiabilidad de la determinación de sólidos solubles totales por medición de °Bx, esta no sustituye la determinación de azúcares reductores totales, ya que el análisis de estos es primordial, porque el alcohol obtenido depende de ellos (Granados 1993).

Efecto de la fertilización mineral con fertilizantes de liberación lenta en las variables evaluadas en tallos de *A. angustifolia*

La aplicación de FLL no mostró efectos significativos en ninguna de las variables evaluadas en el tallo de plantas de *Agave angustifolia*. Sin embargo este factor presentó un comportamiento similar a las variables evaluadas en las hojas, ya que las plantas que fueron fertilizadas con el fertilizante e liberación lenta TB desarrollaron tallo más grandes aunque de manera no significativa. Esto sugiere que de los tres fertilizantes de liberación lenta que se evaluaron en este experimento, Turf Builder® (TB) tuvo efecto para que las plantas mostraran tendencias de mayor crecimiento de hojas y tallo.

La comparación 2 (Anexo 17) mediante contrastes ortogonales mostró que la concentración de sólidos solubles totales °Brix en el tallos de agaves fue significativamente diferente en respuesta a la aplicación de fertilizantes, ya que las plantas que recibieron algún tipo de fertilizante ya sea orgánico ó mineral tuvieron 25.5 °Brix, y aquellas que no recibieron fertilización presentaron 22 .0 °Brix .

Efecto del momento de aplicación de la cantidad total del fertilizante (Mo) en las variables evaluadas en tallos de *A. angustifolia*

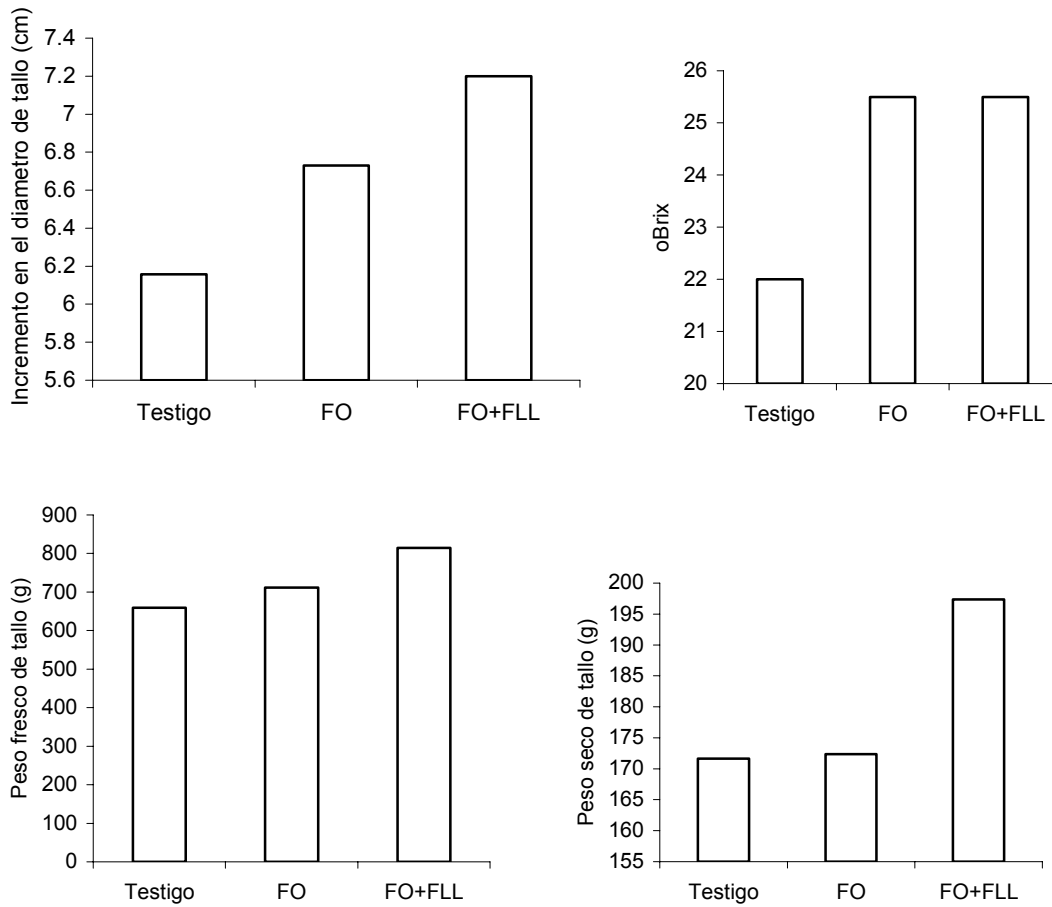
La aplicación de la cantidad total de los fertilizantes en uno ó dos momentos no mostró diferencias estadísticas significativas, aunque nuevamente se observó una tendencia de obtener mayor promedio cuando el fertilizante se aplicó en un solo momento (Cuadro 9), como se registró también en las variables evaluadas en hojas (Cuadro 7).

Cuadro 9. Variables evaluadas en tallos de *Agave angustifolia* en respuesta a la fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta, en una o dos aplicaciones.

Factores	Niveles	Variables evaluadas en tallo			
		Incremento de diámetro (cm)	°Brix	Peso fresco (g)	Peso seco(g)
FO	C	7.1 a ± 0.21	26.2 a ± 0.33	778.8 a ± 8.63	193.8 a ± 33.18
	V	7.2 a ± 0.24	24.8 b ± 0.42	798.7 a ± 8.07	188.5 a ± 33.02
FLL	SFLL	6.7 a ± 0.30	25.5 a ± 0.72	711.15 a ± 11.25	172.36 a ± 47.95
	TB	7.5 a ± 0.25	25.1 a ± 0.52	858.61 a ± 10.01	199.73 a ± 41.84
	NF	6.8 a ± 0.34	25.6 a ± 0.42	777.38 a ± 13.53	193.57 a ± 48.40
	MG	7.4 a ± 0.37	25.9 a ± 0.48	807.87 a ± 12.00	198.85 a ± 46.93
Mo.	1	7.3 a ± 0.19	25.4 a ± 0.41	819.5 a ± 7.90	199.4 a ± 30.05
	2	6.9 a ± 0.26	25.6 a ± 0.36	758.0 a ± 8.70	182.9 a ± 35.59

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales Tukey ($\alpha=0.05$) por cada factor. FO= Fertilización Orgánica, FLL= Fertilizantes de Liberación Lenta y Mo= Momento de aplicación de la cantidad total de los fertilizantes; C= Composta, V= Vermicomposta, SFLL= sin fertilizantes de liberación lenta, TB=Turf Builder®, NF= Numi Fer ® y MG= Miracle-Gro®; 1 = Una aplicación y 2 = Repartida en dos aplicaciones.

La aplicación de FO+FLL a plantas de *Agave angustifolia* promovieron para que los tallos de las plantas incrementaran mayor diámetro, concentración de °Brix, mayor peso fresco y seco, 7.2 cm, 25.5, 814.62 g y 197.38 g respectivamente, valores que superaron en 16.88, 15.90, 23.62 y 15.00 % a las plantas del tratamiento testigo (Figura 17). Comportamiento similar ocurrió en las variables evaluadas en hojas porque la paliación de FLL promovió para que las plantas de *Agave angustifolia* desarrollaran mayor número de hojas, área foliar y peso fresco y seco, por lo que se sugiere que en las condiciones en que se estableció este experimento la fertilización con FLL favorece para que las plantas presenten un mejor crecimiento.



FO= Fertilización orgánica y FLL= Fertilizantes de liberación lenta

Figura 17. Características evaluadas en tallos de plantas de *Agave angustifolia* que recibieron fertilización orgánica y orgánica más mineral con fertilizantes de liberación lenta.

4.1.1.4 Número de hijuelos

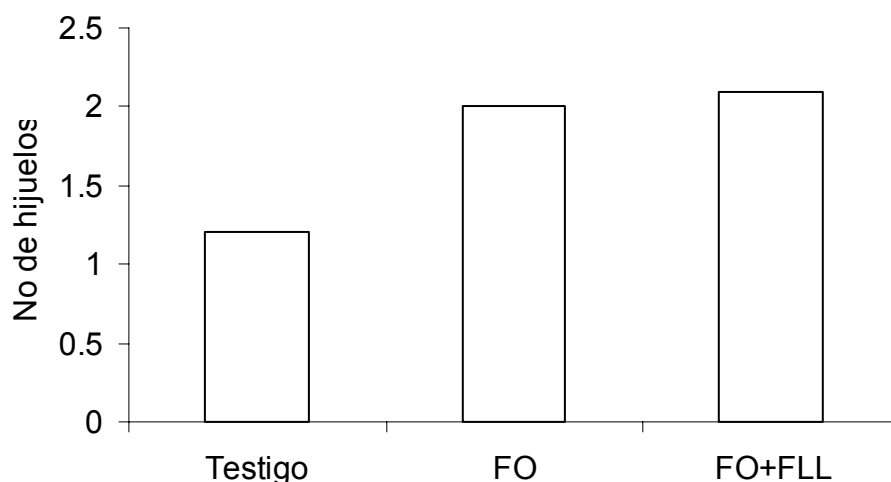
El número de hijuelos producidos por las plantas de *Agave angustifolia* fue en promedio dos por planta, en esta variable los tres factores de estudio, fertilización orgánica, fertilizantes de liberación lenta y momento de aplicación no presentaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 10). El sistema radical de las plantas CAM exhiben relaciones raíz/ rizoma pequeñas, que limitan la pérdida de agua

hacia el suelo, pero mantienen la habilidad para la toma rápida de agua aun cuando están hidratadas (Gibson y Nobel, 1986). Esto explicaría el porque las plantas de *Agave* desarrollaron igual número de hijuelos, ya que a todos los tratamientos se les aplicó riego uniforme durante todo el periodo de evaluación; por tanto, al tener buenas condiciones de humedad, los agaves no tuvieron que desarrollar un mayor número de hijuelos.

La comparación 10 (Anexo 17) mediante contrastes ortogonales mostró que en número de hijuelos fue significativamente diferente en respuesta a la aplicación composta y TB en dos momentos promovió para la plantas de *Agave angustifolia* desarrollarán tres hijuelos, mientras que aquellas que recibieron composta, NF y MG significativamente tuvieron menor número (2) de hijuelos.

La comparación 13 (Anexo 17) mediante contrastes ortogonales mostró que en número de hijuelos fue significativamente diferente en respuesta a la aplicación de composta y NF en un solo momento promovió para la plantas de *Agave angustifolia* desarrollarán un hijuelo, mientras que aquellas que recibieron composta y MG tuvieron significativamente mayor número (3) de hijuelos.

En la figura 18 se observan los promedios del número de hijuelos producidos por las plantas de *Agave angustifolia* por efecto de FO y FO+FLL los cuales muestran efectos similares ya que en promedio los agaves produjeron dos hijuelos con estos dos tipos de fertilización, mientras que las plantas que no recibieron ningún tipo de fertilización (testigo) produjeron sólo un hijuelo.



FO= Fertilización orgánica y FLL= Fertilizantes de liberación lenta

Figura 18. Producción de hijuelos por plantas de *Agave angustifolia* que recibieron fertilización orgánica y orgánica más mineral con fertilizantes de liberación lenta.

Cuadro 10. Número de hijuelos producidos por plantas de *Agave angustifolia* en respuesta a la fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta, en una o dos aplicaciones.

Factores	Niveles	No. de hijuelos
Fertilización orgánica	C	2.13 a ± 0.17
	V	1.89 a ± 0.16
Fertilizantes minerales de liberación lenta	SFLL	1.75 a ± 0.20
	TB	2.38 a ± 0.26
	NF	1.80 a ± 0.20
	MG	2.10 a ± 0.28
Momento de aplicación de la cantidad total de los fertilizantes	1	1.93 a ± 0.18
	2	2.09 a ± 0.16

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales Tukey ($\alpha=0.05$) por cada factor. C= Composta, V= Vermicomposta, SFLL=sin fertilizantes de liberación lenta, TB=Turf Bulde®, NF= Numi Fer ®y MG= Miracle-Gro®, 1 = una aplicación y 2 = repartida en dos aplicaciones.

4.1.2 Parámetros evaluados en suelo

En este trabajo se analizaron sólo algunos de los indicadores de la calidad del suelo. Según SQI (1996), los indicadores de la calidad del suelo pueden ser las propiedades físicas, químicas y biológicas, o procesos que ocurren en él. La importancia de la evaluación de las características del suelo es necesaria, porque ellas reflejan la manera en que el suelo favorece o limita el crecimiento y el desarrollo de las plantas.

En lo que respecta a la calidad del suelo, esta ha sido entendida de muchas formas. Gregorich *et al.* (1994) y Carter *et al.* (1997), mencionan que la calidad debe interpretarse como una medida de la utilidad y capacidad del suelo para funcionar adecuadamente con relación a un propósito específico en una escala amplia de tiempo. Para otros significa promover la productividad del sistema sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas, asimismo atenuar contaminantes ambientales y patógenos, además de favorecer la salud de plantas y animales (Doran y Parkin, 1994).

Dentro de las características indicadoras de la calidad del suelo se encuentra el pH, que tiene importancia en la disponibilidad de los nutrientes, ya que la máxima disponibilidad se encuentra cuando el pH se acerca a la neutralidad entre 6.0 y 6.5. En los resultados obtenidos (Cuadro 11) se encontró que el suelo en donde se incorporó fertilización orgánica de composta y vermicomposta resultó con un valor de pH neutro (6.6. y 7), mientras que el suelo en donde se aplicó algún tipo de

FLL, resultó con un valor de pH moderadamente ácido (5.1-6.5). La aplicación del fertilizante en una ocasión propició que el suelo resultara con un pH neutro (6.6-7.3) (NOM-021-RECNAT-2000).

Para el contenido de materia orgánica, independientemente del factor de estudio, se registraron valores fluctuando de 0.88 a 1.24 % de MO en el suelo, valores que están considerados como un nivel bajo (NOM-021-RECNAT-2000).. Al presentar similares contenidos de MO, también se registraron valores similares de densidad aparente, ya que estas variables están directamente relacionadas. En cuanto al contenido de humedad se registraron valores de 8.57 a 14.01%, este último se presentó cuando al suelo se adicionó un FLL, seguido por el valor 13.33% cuando se adicionó composta.

Para la conductividad eléctrica, todos los niveles de estudio favorecieron que en el suelo se presentara un efecto moderadamente salino (2.1- 4.0 dS m⁻¹), el cual resultó superior en todos los casos al tratamiento control (SFLL) (< 1 dS m⁻¹) (NOM-021-RECNAT-2000).

El mayor tiempo de percolación del agua en las muestras de suelo se presentó en los suelos con mayor porcentaje de materia orgánica (Cuadro 11). Esto demuestra que el contenido de MO influye en la capacidad de retención de humedad, además contribuye para que la percolación del agua en el suelo sea más lenta.

Respecto al contenido de agregados hidroestables se obtuvieron resultados de agregación de 9.7 a 11.4%. La estabilidad de los agregados hace referencia a la

capacidad de estos para mantener su forma al estar sometidos a fuerzas externas generalmente asociadas con el agua como: humectación y el impacto de las gotas de lluvia (Paynes, 1992).

USDA (1996) menciona que los suelos con altos contenido de materia orgánica tienen gran estabilidad de agregados. Los resultados obtenidos en este experimento no fueron coincidentes con esa afirmación, en este caso el contenido de materia orgánica no influyó en el porcentaje de agregados hidroestables.

Cuadro 11. Análisis físico-químico del suelo donde fueron sembrados los agaves que recibieron tratamientos de fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta, en una o dos aplicaciones.

Factores	Niveles	Características evaluadas							
		pH	M.O %	Densidad (g cm ⁻³)	C.H %	C.E dS m ⁻¹	C.P (min.)	A. H (%)	
Fertilización orgánica	C	6.6	1.02	1.49	13.33	2.21	5.38	10.5	
	V	7.0	1.18	1.49	8.57	2.40	7.26	9.7	
Fertilizantes minerales de liberación lenta (FLL)	SFLL	7.5	1.24	1.50	10.85	0.99	5.75	10.02	
	TB	6.5	0.88	1.48	9.56	2.83	5.75	11.4	
	NF	6.5	1.13	1.49	9.39	2.54	6.50	9.8	
Momento de aplicación del total del fertilizante	MG		6.5	1.16	1.49	14.01	2.86	7.27	10.2
		1	6.7	1.07	1.49	12.07	2.08	5.25	10.7
		2	6.9	1.13	1.49	9.84	2.52	7.39	10.5

C= Composta, V= Vermicomposta, SFLL= sin fertilizantes de liberación lenta, TB=Turf Builder®, NF= Numi Fer®, MG= Miracle-Gro®, 1= repartida en una aplicación, 2= repartida en dos aplicaciones, C.H =contenido de humedad, C.P = Columna de percolación y A. H= Agregados hidroestables.

4.2 Experimento II

4.2.1 Nitratos y nitritos lixiviados por efecto de la fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta.

De acuerdo a Etchevers (1992), la técnica de cultivo en macetas es una forma estudiar el efecto de la aplicación de fertilizantes sobre el crecimiento de las plantas y los balances de nutrientes del suelo. Resulta ventajosa debido a que en esas condiciones es fácil controlar la mayoría de las variables que intervienen en la respuesta a los tratamientos. Es importante señalar que los resultados obtenidos con este método representan sólo una aproximación al comportamiento de la lixiviación de nitratos y nitritos en suelos con características específicas, por lo que los resultados no pueden ser extrapolados a condiciones de campo.

A) Nitratos (N-NO₃⁻)

La aplicación de fertilizantes a macetas con plantas de *Agave angustifolia* registró efectos significativos en la concentración de nitratos en el percolado, para ambas fechas. La adición de vermicomposta resultó en una mayor y significativa lixiviación de nitratos (151.52 y 106.08 mg L⁻¹) en las dos fechas de muestreo, mientras que la menor lixiviación se presentó cuando se aplicó el FLL Turf Builder® (7.44 y 13.24 mg L⁻¹) (Cuadro 12), esto indica que TB libera los nutrientes lentamente, actuando claramente como se espera lo haga un FLL de buena calidad.

El nitrato es un ión estable, muy móvil, no se absorbe en arcilla o materia orgánica por sus condiciones aniónicas, y por lo tanto, se puede lixiviar a través del suelo y ser transportado por el agua (Díaz, 1985).

Pineda (2006) menciona que tanto las fuentes minerales como las orgánicas generan pérdidas de nitratos por lixiviación. Esto sucede cuando se acumulan cantidades elevadas en el suelo y la planta no tiene la capacidad para absorberlas, por lo que se lixivian una gran cantidad de nitratos a través del perfil del suelo, que en corto periodo van a parar a los niveles freáticos.

Cuadro 12. Concentración de nitratos (N-NO₃⁻) en percolados a los dos y cuatro meses después de haber aplicado la fertilización a plantas de *Agave angustifolia* cultivadas en macetas.

Tratamientos	Concentración de N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)					
	A los dos meses			A los cuatro meses		
Control, sin fertilización	14.85	d	± 1.69	17.84	b	± 4.18
Composta	36.10	c	± 12.89	27.70	b	± 6.54
Vermicomposta	151.52	a	± 63.45	106.08	a	± 18.70
Turf Builder®	7.44	d	± 1.38	13.24	b	± 2.42
Numi Fer®	61.48	b	± 23.76	143.40	a	± 25.26
Miracle-Gro®	10.59	d	± 1.95	43.78	b	± 7.02

Valores con letras diferentes son estadísticamente diferente entre si. Tukey, α = 0.05.

B) Nitritos (N-NO₂⁻)

Para la concentración de nitritos en el percolado, la aplicación del FLL Miracle-Gro® registró valores significativamente mayores a los demás tratamientos, en

ambas fechas, 28.6 y 486 mg L⁻¹ respectivamente, en tanto que con la aplicación de Numi Fer® se registró un valor muy alto en la segunda fecha (101.17 mg L⁻¹, aun sin ser significativamente diferente de los demás tratamientos (cuadro 13), por lo que considera que estos fertilizante, a pesar de ser comercializados como FLL no lo son, probablemente debido a que sus recubrimientos no tiene la calidad suficiente para actuar como verdaderos FLL. De acuerdo a estos resultados se reafirma que la aplicación de fertilizantes minerales solubles y orgánicos fácilmente mineralizables contribuye a que exista una mayor lixiviación de nitratos y nitritos, como lo han descrito otros autores (Baker y Johnson, 1981; Diez *et al.*, 1997).

Huett, (1997) al momento de usar las formulaciones de FLL con Osmocote® y Nutricote® en plantas en maceteros, durante las primeras dos semanas las descargas más rápidas de N y K disminuyeron las demandas de las plantas por nutrientes, incrementando las pérdidas por lixiviación. En otro estudio en encontró que para 17 tipos distintos de FLL existía una entrega desigual de nutrientes, con tasas de liberación más altas en las primeras semanas, especialmente en tratamientos con mayores temperaturas y con períodos de entrega de nutrientes más cortos (Huett, 2000). En estos casos, el suministro de nutrientes puede no corresponder a los requerimientos de las plantas, por lo que las pérdidas por lixiviación pueden aumentar; además que la respuesta de las plantas a la aplicación de FLL es notablemente distinta de sitio a sitio, por las características propios del suelo, especialmente el contenido de humedad, pueden tener un efecto en el nivel de respuesta a la fertilización con FLL (Cabrera, 1997).

Otra de las causas de las altas concentraciones de nitratos y nitritos en los percolados son debidas a que este puede lixiviarse con facilidad con el agua de lluvia o riego y a demás presenta gran movilidad en el suelo, siendo poco retenido por éste, provocando de esta manera una mayor lixiviación.

Cuadro 13. Concentración nitritos ($N-NO_2^-$) en percolados a los dos y cuatro meses después de haber aplicado la fertilización a plantas de *Agave angustifolia* cultivas en macetas.

Tratamientos	Concentración de $N-NO_2^-$ ($mg L^{-1}$)	
	A los dos meses	A los cuatro meses
Control, sin fertilización	1.09 b \pm 0.26	3.16 b \pm 0.98
Composta	1.27 b \pm 0.43	3.64 b \pm 1.08
Vermicomposta	5.40 b \pm 2.26	5.99 b \pm 1.32
Turf Builder®	9.35 b \pm 1.55	13.93 b \pm 5.05
Numi Fer®	5.11 b \pm 1.36	101.17 b \pm 64.81
Miracle-Gro®	28.60 a \pm 6.87	486.88 a \pm 92.72

Valores con letras diferentes son estadísticamente diferente entre si Tukey, $\alpha = 0.05$

4.2.2 Nitratos y nitritos lixiviados por efecto del tipo de suelo

I) Nitratos ($N-NO_3^-$)

Las pérdidas de nitratos por lixiviación también están influenciadas por el tipo de suelo, ya que la mayoría de los suelos poseen abundantes partículas coloidales, tanto orgánicas como inorgánicas, cargadas negativamente, con lo que repelerán a los aniones y, como consecuencia, en estos suelos se lixiviaran con facilidad los nitratos (González, 1999).

En el Cuadro 14 se observa que el factor suelo promovió diferencias estadísticas significativas en la lixiviación de N-NO_3^- . El suelo con menor lixiviación fue el CX en ambas fechas, a pesar de ser un suelo de textura arenosa, muy pobre en materia orgánica y con baja retención de humedad, valores menores que los que presentan los otros dos tipos de suelo (Cuadro 4), por lo que se piensa que, además de estas características, quizás existan otras con gran influencia para que ocurra ese evento, ya que los resultados encontrados en este experimento no concuerdan con lo señalado por Rimski-Korsakoy *et al.* (2002), quienes mencionan que suelos con textura arenosa presentan las mayores pérdidas de nitratos al tener una menor retención de humedad. Por consiguiente, se esperaría que cuanto más fina sea la textura más capacidad de retención presentarán. Mientras que Arias *et al.* (2004) consideran que tanto la textura como el contenido de materia orgánica de los suelos son factores importantes en relación con la lixiviación, ya que la capacidad de intercambio iónico de un suelo es principalmente una función de la clase y cantidad de arcilla y materia orgánica. En dos experimentos realizados con dos tipos de suelos: Oxisol y Andisol que fueron mezclados con diferente contenido de materia orgánica que las alteraciones en el contenido de materia orgánica sólo afectaron la capacidad para retener nitrato. Por otra parte, Dalence *et al.* (1999) mencionan que también es importante considerar características del cultivo como; tipo, periodo de crecimiento y desarrollo radical, ya que también pueden influir en la lixiviación. En este experimento se trata de un cultivo con periodo de crecimiento largo (7-9 años), además de que las plantas establecidas recibieron poda de raíz y cuando se

plantaron sólo presentaban primordios radicales, lo que quizá también influyó a que existiera pérdida de nitratos.

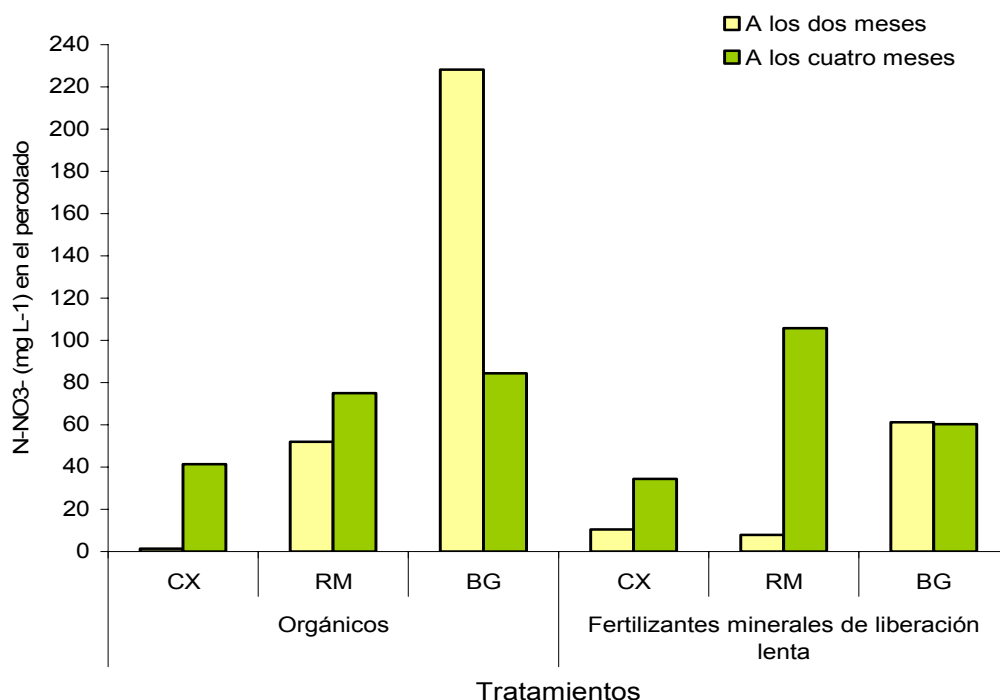
Cuadro 14. Concentración de nitratos ($N-NO_3^-$) en percolados a los dos y cuatro meses después de la fertilización a plantas de *Agave angustifolia* cultivados en macetas con tres tipos de suelo.

Suelos	Concentración $N-NO_3^-$ ($mg L^{-1}$)	
	A los dos meses	A los cuatro meses
CX	7.99 c \pm 1.59	31.64 c \pm 6.45
RM	24.08 b \pm 6.85	83.13 a \pm 17.85
BG	109.00 a \pm 34.11	61.26 b \pm 12.54

CX= suelo Santa Cruz Xoxocotlán, RM= suelo de Reyes Mantecon y BG= suelo de San Baltasar Guelavila. Valores con letras diferentes son estadísticamente diferente entre si. Tukey, $\alpha = 0.05$

La interacción de los abonos orgánicos con el tipo de suelo mostraron que el suelo BG fue el que presentó el mayor contenido de $N-NO_3^-$ en el percolado en las dos fechas de estudio (228.18 y 84.32 $mg L^{-1}$ de $N-NO_3^-$ respectivamente), en cambio con aplicación de fertilizantes de liberación lenta presentaron promedios menores (61.26 y 60.34 $mg L^{-1}$ de $N-NO_3^-$) (Figura 19). El suelo que presentó menores promedio de nitratos ya se con interacción de abonos orgánicos como con fertilizantes de liberación lenta fue CX. Los resultados encontrados concuerdan con lo descrito por Pineda (2006), quien afirma que tanto los abonos orgánicos como los fertilizantes minerales y el tipo de suelo influyen para que existan pérdidas de nitratos por lixiviación

Por otro lado, Jolánkai y Roberts (1985) mencionan que las consecuencias de las actividades agrícolas en la contaminación con nitratos varían en relación al clima, tipo de suelo, tipo de cultivo, prácticas de cultivo, cantidad de fertilizante y período de aplicación.



CX= suelo Santa Cruz Xoxocotlán, RM= suelo de Reyes Mantecon y BG= suelo de San Baltasar Guelavila.

Figura 19. Efecto del tipo de fertilizante y tipo de suelo en la concentración de N-NO₃⁻ en percolados a los dos y cuatro meses después de la fertilización a plantas de *Agave angustifolia* cultivados en macetas.

II) Nitritos (N-NO₂⁻)

Para la concentración de nitritos no se encontraron diferencias estadísticas significativas por efecto del tipo de suelo en la primera fecha, en cambio si la hubo en la segunda, presentándose la mayor concentración en el suelo de RM (145.89 mg L⁻¹). De manera general podemos decir que el suelo BG presentó la mayor

lixiviación de nitratos y nitritos (109 y 10.8 mg L⁻¹) a los dos meses, y el suelo RM a los cuatro meses (83.13 y 145.89 mg L⁻¹) (Cuadro 14 y 15).

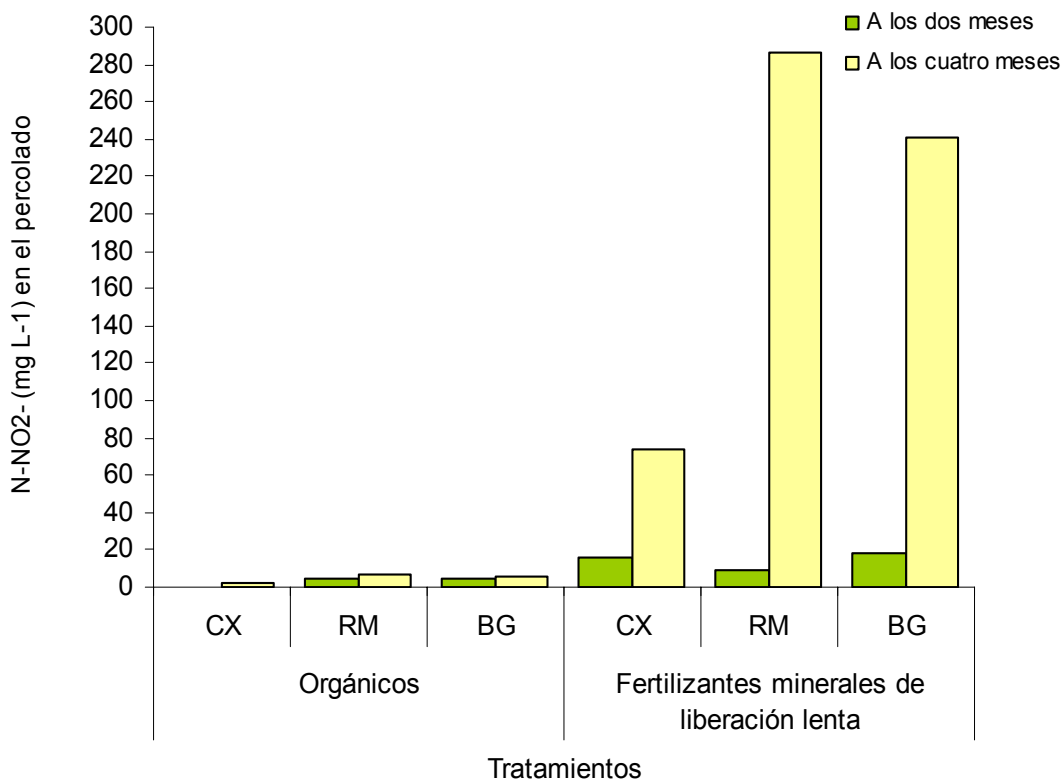
Faúndez (2005) afirma que las pérdidas de nutrientes por lixiviación están fuertemente asociadas con la capacidad de retención de agua del suelo, ya que esta característica influye en el movimiento de lixiviación. Sin embargo, en este experimento se encontró que los suelos RM y BG presentaron la mayor lixiviación de nitritos a pesar de que tuvieron porcentajes de humedad de 36.5 y 37.2 % respectivamente, mientras que el suelo con la menor cantidad de nitritos lixiviados solo presentó un 20.8 % de retención de humedad, por lo que se esperaría que al presentar menor capacidad este suelo presentara mayor concentración de nitritos en el percolado, por tanto se piensa que aparte de la capacidad de retención de humedad, textura, materia orgánica, como se mencionó en el caso de la lixiviación de nitratos, quizás influyan otras características, como el riego u otras características del suelo.

Cuadro 15. Concentración de nitritos (N-NO₂⁻) en percolados a los dos y cuatro meses después de la fertilización a plantas de *Agave angustifolia*, cultivadas en macetas con tres tipos de suelo.

Suelos	Concentración de N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	
	A los dos meses	A los cuatro meses
CX	8.30 a ± 3.69	37.90 b ± 22.66
RM	6.27 a ± 1.30	145.89 a ± 4.90
BG	10.80 a ± 3.07	123.60 ab ± 57.18

CX= suelo Santa Cruz Xoxocotlán, RM= suelo de Reyes Mantecon y BG= suelo de San Baltasar Guelavila. Valores con letras diferentes son estadísticamente diferente entre si. Tukey, α = 0.05

En la figura 20 se observa que, cuando se aplicaron abonos orgánicos, el contenido de N-NO_2^- en el percolado fue menor en ambas fechas para los tres tipos de suelo, en comparación con los FLL, que mostraron mayores promedios de N-NO_2^- en las dos fechas. Esto puede indicar que los FLL liberan nitrógeno a un ritmo mayor que los orgánicos. Las pérdidas de nutrientes también dependen del tipo de fertilizante aplicado y la interacción de estos con el tipo de suelo, ya que se encontró que en el suelo CX se presentaron los menores promedios de N-NO_2^- ya sea con fertilizantes orgánicos y de liberación lenta, de igual manera el que presentó los mayores promedio con ambos fertilizantes fue RM.



CX= suelo Santa Cruz Xoxocotlán, RM= suelo de Reyes Mantecon y BG= suelo de San Baltasar Guelavila.

Figura 20. Efecto del tipo de fertilizante y tipo de suelo en la concentración de N-NO_2^- en el percolado a los dos y cuatro meses después de la fertilización a plantas de *Agave angustifolia* cultivados en macetas.

4.2.3 Nitratos y nitritos en hojas *A. angustifolia* por efecto de la fertilización orgánica y mineral con fertilizantes de liberación lenta.

El factor fertilización no propició efectos significativos en la concentración de nitratos en tejido foliar, a los 145 días después de la aplicación, pero si lo hizo para la concentración de nitritos, (Cuadro 16). En general, con la aplicación del FLL Numi Fer® se registraron las mayores concentraciones de nitratos y nitritos en hojas de *Agave angustifolia*.

En general, se observó que cuando las plantas fueron fertilizadas con los fertilizantes de liberación lenta (Turf Builder®, Numi Fer® y Miracle-Gro®), se registraron las mayores concentraciones de nitratos y nitritos en el tejido foliar de la plantas de *A. angustifolia*.

Cuadro 16. Concentración de $N-NO_3^-$ y $N-NO_2^-$ en hojas de *Agave angustifolia* a los 145 días después de la fertilización.

<i>Tratamientos</i>	$(N-NO_3^-) \text{ mg g}^{-1}$	$(N-NO_2^-) \text{ mg g}^{-1}$
Control, sin fertilización	0.079 a \pm 0.006	0.120 bc \pm 0.014
Composta	0.068 a \pm 0.007	0.094 c \pm 0.008
Vermicomposta	0.078 a \pm 0.009	0.117 bc \pm 0.007
Turf Builder®	0.099 a \pm 0.020	0.149 ab \pm 0.010
Numi Fer®	0.105 a \pm 0.014	0.170 a \pm 0.016
Miracle-Gro®	0.101 a \pm 0.033	0.148 ab \pm 0.014

Valores con letras diferentes son estadísticamente diferente entre si. Tukey, $\alpha = 0.05$

4.2.4 Nitratos y nitritos en hojas *A. angustifolia* por efecto del tipo de suelo

El factor tipo de suelo no promovió efectos significativos en la concentración de nitratos en tejido foliar, mientras que para la concentración de nitritos si lo hizo. Los valores más altos para esta última variable se registraron en las plantas que crecieron en los suelos RM y BG (0.151 y 0.140 mg g⁻¹ respectivamente) (Cuadro 17).

Cuadro 17. Concentración de N-NO₃⁻ y N-NO₂⁻ en hojas de *Agave angustifolia*, 145 días después de la fertilización y cultivadas en macetas con tres tipos de suelo.

Suelo	(N-NO ₃ ⁻) mg g ⁻¹			(N-NO ₂ ⁻) mg g ⁻¹		
CX	0.101	a	± 0.017	0.109	b	± 0.008
RM	0.091	a	± 0.010	0.151	a	± 0.009
BG	0.073	a	± 0.007	0.140	a	± 0.011

CX= suelo Santa Cruz Xoxocotlán, RM= suelo de Reyes Mantecon y BG= suelo de San Baltasar Guelavila. Valores con letras diferentes son estadísticamente diferente entre si. Tukey, α = 0.05

Es reconocido y apreciado el hecho de que los fertilizantes favorecen el desarrollo y producción de los cultivos, pero es menos conocido el efecto de estos en la contaminación del suelo y el agua, que actualmente son problemas ambientales graves a nivel mundial. El uso de fertilizantes es una causa importante, ya que se ha registrado relación directa entre los fertilizantes nitrogenados y el riesgo de lixiviación. Por otro lado, los suelos poseen diferente susceptibilidad a la lixiviación de nitratos, siendo usualmente más elevada en los de textura gruesa, aunque en este experimento se encontraron resultados diferentes. El riego también es un factor decisivo que tiene relación directa con el incremento potencial de la contaminación de capas freáticas con nitratos, ya que los excesos de agua, ya sea

por riego o por precipitaciones elevadas, favorecen el movimiento de nitratos hacia la profundidad del perfil.

El consumo de agua y alimentos con elevados contenidos en nitratos (superior a 50 ppm de NO_3^- en agua, según la OMS) puede representar un serio riesgo para la salud (metahemoglobinemia). Existen también otros problemas ambientales relacionados con la aportación de N a los cultivos: eutrofización de las aguas, emisión de óxidos de N a la atmósfera y acumulación de NO_3^- en los productos de consumo. Como ha sido ampliamente demostrado, todos los problemas derivados de la fertilización nitrogenada ocurren cuando el N se presenta en forma de NO_3^- (Carrasco, 1999).

CAPITULO V

CONCLUSIONES

- De los tres factores de estudio en este experimento ninguno promovió diferencias estadísticas significativas en el incremento en altura de las plantas de *Agave angustifolia* y número de hijuelos por planta.
- El mayor número de hojas desplegadas se observó en los meses donde se concentró la mayor parte de la temporada de lluvia (mayo-noviembre), independientemente de que se haya aplicado fertilización orgánica o mineral.
- Las plantas de *Agave angustifolia* a las que se les aplicó el fertilizante de liberación lenta Turf Builder® alcanzaron significativamente mayor peso fresco y seco de hojas, así como número de hojas desplegadas y área foliar, en comparación con los otros productos ensayados. Para las variables evaluadas en tallo, este mismo producto presentó los mayores promedios, aun sin ser estadísticamente diferentes de los registrados con la aplicación de los otros productos.
- De los tres productos fertilizantes de liberación lenta que se evaluaron en este experimento Turf Builder® fue el que promovió la mejor respuesta del

crecimiento de plantas de *A. angustifolia*, determinada por el comportamiento de variables evaluadas en tallo y hojas.

- La aplicación del fertilizante de liberación lenta en un solo momento promovió una mejor respuesta de las plantas en su crecimiento, evaluado con variables de hojas y tallo, en comparación con su aplicación fraccionada en dos momentos.
- La aplicación de fertilización orgánica a plantas de *Agave angustifolia* no promovió diferencias significativas en las variables evaluadas en las hojas (incremento del número de hojas, área foliar, peso fresco y peso seco), aunque con la aplicación de composta se observó una tendencia de mayor crecimiento en área y peso seco foliar.
- La aplicación de fertilización orgánica no promovió aumentos significativos en las variables diámetro, peso fresco y peso seco de tallo, pero sí lo hizo para la concentración de sólidos solubles totales (°Brix) y nitrógeno en el tejido foliar, obteniendo los mayores promedios las plantas que fueron fertilizadas con composta.
- En las condiciones en que se realizó el experimento, los parámetros evaluados en el suelo no resultaron modificados significativamente por los

factores en estudio, a excepción de la conductividad eléctrica, la cual se incrementó por efecto de la aplicación de los fertilizantes.

- La adición de vermicomposta resultó en una mayor y significativa lixiviación de nitratos (151.52 y 106.08 mg L^{-1}) en las dos fechas de muestreo, mientras que la menor lixiviación se presentó cuando se aplicó el fertilizante de liberación lenta Turf Builder® (7.44 y 13.24 mg L^{-1}).
- Para la concentración de nitritos en el percolado, la aplicación de Miracle-Gro® registró valores significativamente mayores a los demás tratamientos, en ambas fechas, 28.6 y 486 mg L^{-1} respectivamente.
- En el suelo de San Baltasar Guelavila se presentó la mayor lixiviación de nitratos y nitritos (109 y 10.8 mg L^{-1}) a los dos meses, y el suelo Reyes Mantecon a los cuatro meses (83.13 y 145.89 mg L^{-1}) de manera significativa.
- El suelo que presentó la menor lixiviación de nitratos en las dos fechas de muestreo y nitritos en la segunda fue el de Santa cruz Xoxocotlán.
- El tipo de suelo no modificó significativamente la concentración de nitratos en las hojas de *Agave*, pero sí la de nitritos.

CAPÍTULO VI

LITERATURA CITADA

- Aarnio, T. and Martikainen, P. J. 1996. Mineralization of carbon and nitrogen, and nitrification in Scots pine forest soil treated with fast- and slow-release nitrogen fertilizers. *Biol. Fertil. Soils.*, 22. Pp. 214-220.
- Alva, A. K. and Wang, F. L. 1996. Leaching of nitrogen from slow-release urea sources in sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:1454-1458.
- Angella G. A., Prieto D. y Angueira C. 2002. Efecto de la fertilización y el riego sobre la lixiviación de nitratos en Santiago del Estero. INTA EEA Santiago del Estero. Pp. 1-7.
- Arredondo V. C. y Espinoza H. 2005. Manual del maguero. Consejo Oaxaqueño del maguey y mezcal, A.C. P.142.
- Arredondo V. C., Contrera I. R. y Canseco L. A. 2001. Evaluación de la respuesta del maguey mezcalero (*Agave angustifolia* Haw) a la fertilización en plantaciones comerciales. VI Foro estatal de investigación científica y tecnológica. Pp.105-107.
- Arellano, E. 2003. The effect of soil type, fertilizer, and moisture regime on 1+0 Douglas fir seedlings. M.Sc. thesis, Oregon State Univ. Corvallis. USA. P. 88.
- Arias S. C., Pérez J. C. y Rueda O. M. 2004. Lixiviación de nitratos en dos suelos sin alterar sus propiedades físicas. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Medellín (Colombia). EIA, ISSN 1794-1237. No. 2:35-40.
- Arnott, J.T. and Burdett, A.N.1988. Early growth of planted western hemlock in relation to stock type and controlled-release fertilizer application. *Can. J. For. Res.* vol. 18: 710-717.
- Arredondo C. M., Cano A., Espinoza H. y Vásquez F. 2002. La materia prima para producir el mezcal oaxaqueño. Catálogo de diversidad de agaves. INIFAP. Folleto técnico 2. Oaxaca, Oax. Pp. 68.
- Association of American Plant Food Control Officials (AAPFCO), 1995. No.48., Inc; West Lafayette, Indiana, USA.

- Baker, J. L. and Johnson, H. P. 1981. Nitrate nitrogen in tile drainage as affected by fertilization. *J. Environ. Qual.* 10:519-522.
- Benson, R. B. 1997. Fertilizer Technology. p. 5-9 in Proc. of Symposium on Forest Seedling Nutrition from the Nursery to the Field, OSU College of Forestry, October 28-29, Corvallis, OR.
- Bethlenfalvay, G. J. and J. M. Barea. 1994. Micorrhizae in sustainable agriculture. I . Effects on seed yield and soil aggregation. *Am.J. Altern.Agric.* 9:157-161
- Black, C.C. 1986. Effects of CO₂ Concentration on Photosynthesis and Respiration of C₄ and CAM Plants. In: H.Z. Enoch and B.A. Kimball (Eds.). Carbon Dioxide Enrichment of Greenhouse Crops. Volume II. Physiology, Yield, and Economics. CRC Press, Inc. Boca Raton, Fla. USA. Pp. 29-40.
- Cabrera, R. I. 1997. Comparative evaluation of nitrogen release patterns from controlled-release fertilizers by nitrogen leaching analysis. *Hort Sci*, vol. 32. Pp. 669- 673.
- Cadahia, C., Masaguer, A., Vallego, A., Sarro, M.J., Peñalosa, J. M. 1993. Pre-plant slow-release fertilization of strawberry plants before fertigation. *Fertilizer Research* 34(3): 191-195.
- Carlson, R. M., R. I. Cabrera, J. L. Paul, J, Quick and R.Y. Evans. 1990. Rapid direct determination of ammonium and nitrate in soil and plant tissue extracts. *Commun.Soil Sci.Plant Anal.* 21:1519-1529.
- Carrasco M. I .1999. Nuevas tecnologías en fertilización para el respeto del medio ambiente. *Agroinformacion.com.* P. 15
- Carter, M.R., Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. and Pierce, F.J. 1997. Concepts of soil quality and their significance. En *Soil quality for crop production and ecosystem health* (eds. Gregorich, E.G. y Carter, M.). Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Netherlands.
- Caspistran, F., Aranda, E. y Romero, J. C. 2001. Manual de reciclaje, compostaje y lombricopostaje. Instituto de ecología., A. C. Xalapa. Ver, México. Pp.79-141.
- Castellanos J. Z., Uvalle J. S. y Aguilar, S. A. 2000. Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas. Ed. INCAPA. 2º edición. México D. F. P. 226p.
- Chagoya M. V. 2004. Diagnostico de La cadena productiva del sistema producto maguey-mezcal. SAGARPA. SEDAF. COMMAC. 206 p.

- Chen, Y., Inbar, Y. y Hadar, Y. 1993. Recycling of cattle manure: The composting process and characterization of maturity. *J. Environ. Qual.* 22:857-863.
- Cushman, J. 2001. Crassulacean Acid Metabolism. A Plastic Photosynthetic Adaptation to Arid Environments. *Plant Physiol.* ;127:1439-1448.
- Dalence, L., J. A. Díez, A. Vallejo, M.C. Cartagena and A. Polo, 1999. Estimate of mineralized organic nitrogen in soil using nitrogen balances and determining available nitrogen by the electro-ultrafiltration technique. Application to Mediterranean climate soil. *J. Agric. Food Chem.* 46: 2036-2043.
- Dalzell, H. W., Biddleston, A., Gray, K. R. y Thurairajan, K. 1991. Manejo de suelo producción y uso de composta en ambiente tropicales y subtropicales. Organizaciones de las naciones unidas para la agricultura y alimentación. Italia. p.176.
- Daza M, C., Álvarez J.G. y Rojas L. A. 2006. Efecto de materiales orgánicos e inorgánicos sobre las fracciones de fósforo de un Oxisol de los Llanos Orientales colombianos (Colombia). *Agronomía Colombiana* 24(2): 326-333.
- Díaz, F. M. 1985. "Contaminación de las Aguas Subterráneas por Nitratos – Situación existente en el Aglomerado Bonaerense", Anales del XII Congreso Nacional del Agua, Tomo III (a), CONAGUA 85, Mendoza, República Argentina, 21.
- Dick, W. A. and McCoy, E. L. 1993. Enhancing soil fertility by addition of compost. *In: Science and Engineering of composting: Design. environmental, microbiological and utilization aspects.* Ed: H.A. Hoitink and H. Keener. The Ohio State University. Pp. 1-6.
- Díez J. A., Roman R., Caballero, R. y Caballero, A. 1997. Nitrate leaching from soils under a maize-wheat-maize sequence, two irrigation schedules and three types of fertilisers. *Agric. Ecosyst. Environ.* 65:189-199.
- Doran, J. W. and Parkin, B. T. 1994. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Edwards, C. A., Burrows, I., Fletcher, K. E. and Jones, B. A. 1985. The use of earthworms for composting farmwastes. pp. 229-242. *In: J.K.R. Gasser (ed.). Composting of agricultural and other wastes.* Elsevier Publisher. Luxemburgo, U.K.
- Edwards, C. A and Fletcher, K. E. 1988. Interaction between earthworms and microorganisms in organic-matter breakdown 24, 235-247 *In: C. A Edwads,*

B.R Stinner, O. Stinner and S. Rabatin (Eds) *Biological interactions in soil Agriculture Ecosystems and Environmental* Amsterdam.

Embleton, T. W., Pallares, C., Jones, W. W., Summers, L. and Matsumura M. 1981. Nitrogen fertilization management of vigorous lemons and nitrate-pollution potencial of ground water. *Proc Int Soc Citriculture* 1:15-19A.

Espinoza P. H.; Arredondo M. A.; Canon, A. M.; Canseco y F. Vásquez. 2002. La materia prima para producir el mezcal oaxaqueño. Catálogo de diversidad de agaves. INIFAP, folleto técnico 2. 68 p.

Etchevers, J. D. 1992. El papel de los fertilizantes en la agricultura sostenible. Centro de Edafología. Colegio de Posgraduados. Motecillo, México.

FAO. 1986. Fertilizantes nitrogenados de liberación lenta. InfoAgro.com. 20-06-2007.

Faúndez P. K. 2005. Actividad microbiológica global en suelos acondicionados con biosólidos cloacales frescos y compostados con residuos Forestales. Tesis. Universidad de Chile facultad de ciencias agronómicas escuela agronómica. 66 p.

Ferreira M. E., Cruz C. P y Da-Cruz M. C. P. 1992. Effects of compost from municipal digested sy earthworms on the dry mater production of maize and soil propertier. *Cientifica Jaboticabal*, 20,217-226.

Ferruzzi, C. 1994. Manual de lombricultura. Ed. Mundi-Prensa. Madrid España. 138 p.

Fortuna A., Harwood R. R y Paul E. A. 2003. The effects of compost and crop rotation on carbon turnover and the particulate organic matter fraction. *Soil Sci.* 168: 434-444.

Freeze, R. A, y Cherry, J.A. 1979. *Groundwater*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. 604 p.

Galli, E., Tomati, U., and Grapelli, A.1993. Microbial processes related to organic matter beakdown by earthworms and their influence on plantgrowth. *Humus el plant*, 2, 391-392.

García–Mendoza A. J., Ordóñez, M. J. y Briones, S. M. 2004. Biodiversidad de Oaxaca. REDACTA, S.A. de C. V. México. D. F. p. 154.

- Gibson, A. C., and P. S. Nobel. 1986. *The Cactus Primer*. Harvard University Press. Cambridge. 286 p.
- Goertz, H. M. 1993. Controlled Release Technology. In: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, vol. 7, 4th ed. Wiley, New York. Pp. 251- 274
- González A. 1999. Determinación y estimación del grado de contaminación por nitratos en cultivos agrícolas, y su relación con los tipos de suelo en una zona de independencia - caso de estudio pajchanti. 19 p.
- González, A.; Sánchez, R.; Martínez, E. 1995. *Fundamentos Científicos de la Agroecología Mexicana*. Ed. UE. México 180 p.
- Granados, S. D. 1993. *Los Agaves en México*. UACH. México D.F. 251 p.
- Grapelli, A., Galli, E. and Tomati, U. 1987. Earthworm casting effect on *Agaricus biporos* fructification. *Agrochemycal*, 20 (5), 874-876.
- Gregorich, E.G., Carter, M.R., Angers, D.A., Monreal, C.M. y Ellert, B.H. 1994. Towards a minimum data set to asses soil organic matter quality in agricultural soils. *Canadian J. of Soil Science* 74: 367-386.
- Hall, W. L. 1996. Vigoro Industries: Reply to the request on controlled-release fertilizers.
- Hallberg, G. R. 1989. Nitrate in ground water in the United States, in *Nitrogen Management and Groundwater Protection, Developments in Agricultural and Managed-Forest Ecology* 21: 35-74.
- Hernández G. E. 2003. Crecimiento en vivero de vitroplantas de *Agave angustifolia* Haw bajo efectos de sustratos orgánicos y fertirriego. Tesis de maestría. ITVO. 129 p.
- Huang, Y.M. and Wang, Y. P.1993. The effects of organic fertilizer on crops production and chemical properties. 7th. International Congress of the Society for the Advancement of Breeding Research in Asia and Oceanic (SABRAO) and International Symposium of World Sustainable Agriculture Association (WSAA) in Taipei, Republic of China.
- Huett, D. O. and Gogel B. J.. 2000. Longevities and nitrogen, phosphorus, and potassium release patterns of polymercoated controlled-release fertilizers at 30°C and 40°C. *Commun. Soil Sci. Plan*, vol. 31: 959-973.
- Huett, D.O.1997. Fertiliser use efficiency by containerized nursery plants. 1. Plant growth and nutrient uptake. *Aust. J. Agric. Res.*Vol. 48: 251-258.

- INEGI. 1998. Anuario estadístico del Estado de Oaxaca. Catalogo No. 15218.
- Infante S.G.; y Zarate L. G. 1984. Métodos estadísticos. 1º Edición. Edit. Trillas.
- Jiménez G. 1992. Fertilizantes de liberación lenta, tipos evolución y aplicaciones. Madrid, Mundi prensa,. 190 p.
- Jolánskai, G. and Roberts, G. 1985. "Contamination of subsurface water resources by nitrate". Unesco, Programa del Hombre y Biosfera, Paris. Budapest: UNESCO / MAB.
- José J. R. 1995. Estimación de la productividad en *Agave angustifolia* Haw. Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillo México. 90 p.
- Kale, R. D., Mallesh, C. B., Bano, K. and Bagyaraaj, J.D. 1992. Influence of vermicompost application on the available macronutrients and selected microbial populations in a paddy field. *Soil Biol. Biochem.* 22: 1317-1320.
- Keeley, J. E., and Rundel, P. W. 2003. Evolution of CAM and C4 carbon-concentrating mechanisms. *Iter. J. Plant Sci.* 164:555-577.
- Kemper, W.D. and R.C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: A. Klute Ed. *Methods of soil analysis. Part I. Agronomy Monograph 9.* Amer. Soc. Agronomy and soil Sci. Amer. Madison, Wisconsin.
- Kloth, B. 1996. Aglukon Spezialdünger GmbH: Reply to the request on controlled-release fertilizer.
- Kluge, G. and Embert, G. 1996 *The Fertilizer Law with Technical Explanations.* Bonn, Germany.
- Kretschmar, A. 1992. Importance of the interaction of soil fauna and microflora for formation of humus and the development of organic substance. *Soil utilization and Soil fertility. Vol (4) Humus Bodged. Berichte Über Landwirtschaft.* 206, 117-126.
- Kulkarni, B. S., Nalawadi, G. U and Giraddi, S. R. 1996. Effect of vermicompost and vermiculture on growth and yield on China aster (*Callistephus chinensis* Nees.) cv. Ostrich Plume mixed. *South Indian Horticulture.* 44: 33-35.
- Laird D.A, Martens DA, Kingery WL. 2001. Nature of Clay- Humic Complexes in an Agricultural Soil. I. Chemical, Biochemical, and Spectroscopic Analyses. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1413-1418.

- Legaz F. y Primo-Millo E. 1992. Influencia de la fertilización nitrogenada en la contaminación por nitratos de aguas subterráneas. *Levante Agrícola*. 4:317-318
- Linaje L. A.; Muños-Guerra R. L. M. 2005. Fertilización eco-eficiente del olivo y disminución de la contaminación por nitratos mediante inhibidores de la nitrificación. Comunicación técnica OLI-21 Oliva. Foro del Olivar y del Medio Ambiente. Pp. 1-9.
- Longsdon, G. 1994. Worldwide progress in vermicomposting. *Biocycle*, 35, 63-65.
- Lowrison, 1989. http://www.infoagro.com/abonos/ab_liber_lenta.htm. 25-10-2005.
- Manzur L. 1983. Effect of composted urban waste on availability of phosphorus an acid soil. In: *Revista Brasileira de Ciencia do solo*. 7:153-156.
- Martin, P. A. 1990. The fate of nitrogenous fertilizer applied to turfgrass. *Journal of Environmental Quality* 19: 1-14.
- Mary B. 1997. N hazards to crops and environment. In: *Diagnosis of the nitrogen status in crops*, Cap. 13 (G. Lemaire ed), Springer-Verlag, Berlín, 229-235.
- Michell, A. and Alter, D. 1993. Supression of labile aluminium in acidic soils by the use of vermicompost extrac. *Crommon. Soil Science. Plant Analysis*, 24: 1171-1181.
- Mora D. J. R. 2001. Contribuciones del compost al mejoramiento de la fertilidad del suelo. 6 p.
- Muñoz-Carpena R., Ritter A., Socorro A. R. y Pérez N. 2002. Contaminación por nitratos en plataneras regadas por aspersion. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. Pp.1-12.
- Mussett y Díaz M. 2000. Establecimiento de *agave cocui* trelease en zonas semiáridas de falcón: efecto de la densidad de siembra y asociación con *Erythrina velutina* willd. *Cieza*. 28p.
- Nafate M. y Gutiérrez M. F. 2006. Producción orgánica de jitomate usando vermicomposta de excretas de borrego. *Memorias del 1er congreso estatal de biotecnología. El cromosoma*. 2: 31-120.
- Nobel, P. S. 1988. *Environmental Biology of Agaves and Cactus*. Cambridge University Press. 270 p.

- NOM-021-RECNAT-2000. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.
- Otero B. R., Valdés T. C., Igarza S. A. y Rodríguez M. N. 2000. Efecto de la norma e intervalo de riego en el crecimiento y desarrollo del henequén (*Agave fourcroydes*, Lem.) en fase de vivero. *Temas*. Pp. 45-47.
- Pacheco R. A. J y Vásquez V. L. 2005. Abonado y fertirriego sobre el crecimiento y condición nutrimental de vitroplantas de *Agave angustifolia* Haw en vivero. Tesis de licenciatura. ITVO. 96 p.
- Pacheco R., González M. A. y Brinceno J. A. 1986. Efecto del fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en la lixiviación de nitrato, potasio, calcio y magnesio en un andepto de costa rica. *Agronomía Costarricense* 10 (1/2): 129-138.
- Paino V. 1996. Municipal tropical compost: effects on crops and soil properties. In : *Compost Science & Utilization*. Vol. 4, No. 2: 1-6
- Paynes D. 1992. Estructura del suelo, laboreo y comportamiento mecánico. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Coordinado por Alan W. Versión española de Urbano T. P. y Rojo H. C. Ediciones Mundi-Prensa Madrid. Pp. 395-430
- Palma, C. F. 1998. Las especies útiles de género *Agave* en Oaxaca. *Huaxyacán* 16:12-16.
- Paquini-Rodríguez, S.A., Alvarado-Raya, H., Pérez- Mercado, C. y Ferrera-Cerrato A. 2003. Crecimiento vegetativo de plantas de duraznero (*Prunus persica* L. Batsch) en vivero, micorrizadas y fertilizadas con vermicomposta.
- Peña, T. E.; Ramírez. C. M.; Martínez. F.; Rodríguez. N. A.; Companioni, C. N. 2002. Manual para la producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana. La Habana Cuba.
- Pineda-Barrios E. M., Gonzáles del Castillo-Aaranda, and P. S. Nobel. 2002. Ecophysiology of a wild platyopuntia exposed to prolonged drought. *Env. Exp. Bot.* 47:77-86.
- Pineda M. R. 2006. Propósito de ecología, agricultura y Fertilizantes. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado, CIPCA. Piura, Perú. p. 18
- Potter, N. N. 1995. La ciencia de los alimentos. Ed. Harla. Mexico, D.F. 561 p.
- Powell, G. and Gaines, T. S. 1994. Soil texture effect on nitrate leaching in soil percolates. *Soil Sci Plant anal.*, 25(13 y14), 2561-2570-

- Raigon, M. D., Primo Yufera, E., Maqueira, A., Puchades, R. 1996. The use slow-release fertilizers in *Citrus*. *Journal of Horticultural Science* 71(3): 349-359.
- Rimski-Korsakov, H., M. Torres Duggan. y R. S. Lavado. 2002. "Influencia de la Fertilización y el Riego en la Lixiviación de Nitratos en un Suelo Arenoso". XVII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, 11 al 14 de abril.
- Romero L. R. 2000. Agricultura orgánica: Elaboración y aplicación de abonos orgánicos. *In*; Martínez, C. C.; Ramírez, F. L. Lombricultura y Agricultura Sustentable. México D.F. Edt. Trillas. Pp. 25-26.
- Sainz, R. H., Echeverría, H. E., Studdert, G. A., and Andrade, F.H. 2000. No-till corn nitrogen uptake and yield effect of urease inhibitor and application time, *Agronomy Journal* 91:950-955.
- Satchell, K.E and Martín, K. 1984. Phosphatase activity earthworm faeces. *Soil Biol. Biochem.* 16(2) 191-194.
- Scotts. 1999. Fertilizantes solubles y de entrega sostenida, para el uso en viveros, 25pp. Disponible en página de Internet. www.scottscompany.com. Accesada en el 2006 del mes de febrero.
- Shoji, S. and Kanno, H. 1994 Use of polyolefin-coated fertilizer for increasing fertilizer efficiency and reducing nitrate leaching and nitrous oxide emissions. *Review. Fertilizer Research* 39,147-152.
- SQI-Soil Quality Institute. 1996. *Indicators for Soil Quality Evaluation*. USDA Natural Resources Conservation Service. Prepared by the National Soil Survey Center in cooperation with The Soil Quality Institute, NRCS, USDA, and the National Soil Tilth Laboratory, Agricultural Research Service. USA.
- Stapleton, J. J, and E. Devay. 1985. Soil solarization: effects on soil properties, crop fertilization and plant growth. *Soil Biol. Biochem.*17:369-373.
- Stumm, W. y Morgan, J.J, 1981. *Aquatic Chemistry*, 2^a ed., John Wiley, New York. p. 780.
- Szczecch, M. M. 1999 Suppressiveness of vermicompost against *Fusarium* wilt of tomato. *Journal of Phytopathology* 147: 155-161.
- Tisdale S. L. y Nelson W. L. 1970. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Barcelona, España. Montaner y Simón (Ed). 760 p.

- Trenkel, M. E. 1997. Improving fertilizer use efficiency: Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture International Fertilizer Industry association. Paris. Pp. 25-27.
- USDA,(The United States Department of Agriculture). 1996. Soil quality indicators: aggregate stability. Natural resources conservation service.
- Wang, F.L., A.K. Alva. 1996. Leaching of nitrogen from slow-release urea sources in sandy soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 60:1454-1458.
- Wild, A. 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Russell. Ed. Mundi-Prensa. 1045 p.
- Wu, Q. J., Ward A. D and Workman S.R. 1996. Using GIS in simulation of nitrate leaching from heterogeneous unsaturated soils. *J. Environ. Qual.* 25:256-534.

ANEXOS

EXPERIMENTO I

Altura

Anexo 1. Análisis de varianza para la variable incremento en altura de las plantas de *Agave angustifolia*.

<i>Fuente de variación</i>	<i>gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F_o</i>	<i>Pr > F</i>
Tratamiento	15	1044.20783	69.61386	0.78	0.7002
Error	144	12885.62989	89.48354		
Total	159	13929.83772			

$r^2 = 0.074962$ $CV=42.93111$

<i>Fuente de variación</i>	<i>Gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F_o</i>	Pr > F
Abono	1	24.2658506	24.2658506	0.27	0.6033
Fert	3	319.0686769	106.3562256	1.19	0.3163
Momento	1	274.3402506	274.3402506	3.07	0.0821
Abono*fert	3	72.2762019	24.0920673	0.27	0.8475
Abono*momento	1	73.2920256	73.2920256	0.82	0.3670
Fert*momento	3	64.7488019	21.5829340	0.24	0.8675
Abono*fert*momento	3	216.2160269	72.0720090	0.81	0.4928

Variables en hojas

Anexo 2. Análisis de varianza para la el incremento en número de hojas en plantas de *Agave angustifolia*.

<i>Fuente de variación</i>	<i>gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr >F</i>
Tratamiento	15	281.493750	18.766250	1.01	0.4444
Error	144	2665.500000	18.510417		
Total	159	2946.993750			

$r^2 = 0.095519$ CV= 26.56811

<i>Fuente de variación</i>	<i>gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr > F</i>
Abono	1	0.0562500	0.0562500	0.00	0.9561
Fert	3	58.8687500	19.6229167	1.06	0.3681
Momento	1	63.7562500	63.7562500	3.44	0.0655
Abono*fert	3	109.8187500	36.6062500	1.98	0.1200
Abono*momento	1	2.6562500	12.6562500	0.68	0.4097
Fert*momento	3	8.4187500	2.8062500	0.15	0.9285
	3	27.9187500	9.3062500	0.50	0.6810
Abono*fert*momento					

Anexo 3. Análisis de varianza para el peso fresco de hojas en plantas de *Agave angustifolia*.

<i>Fuente de variación</i>	<i>gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr >F</i>
Tratamiento	15	5087838.01	339189.20	1.04	0.4163
Error	144	46872729.30	325505.06		
Total	159	51960567.31			

$r^2 = 0.097917$ CV= 39.45395

<i>Fuente de variación</i>	<i>Gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr >F</i>
Abono	1	8943.225	8943.225	0.03	0.8686
Fert	3	2576432.024	858810.675	2.64	0.0519
Momento	1	284435.393	284435.393	0.87	0.3515
Abono*Pert	3	797414.700	265804.900	0.82	0.4867
Abono*momento	1	200177.010	200177.010	0.61	0.4342
Fert*momento	3	553411.073	184470.358	0.57	0.6378
Abono*fert*momento	3	667024.580	222341.527	0.68	0.5638

Anexo 4. Análisis de varianza para el peso seco de hojas en plantas de *Agave angustifolia*.

<i>Fuente de variación</i>	<i>gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr > F</i>
Tratamiento	15	207871.432	13858.095	1.10	0.3629
Error	144	1816690.948	12615.909		
Total	159	2024562.380			

$r^2 = 0.102675$ CV= 41.25613

<i>Fuente de variación</i>	<i>gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr > F</i>
Abono	1	526.3644	526.3644	0.04	0.8384
Fert	3	118812.7073	39604.2358	3.14	0.0273
Momento	1	20394.7505	20394.7505	1.62	0.2056
Abono*Pert	3	27930.9053	9310.3018	0.74	0.5310
Abono*momento	1	14341.3292	14341.3292	1.14	0.2881
Fert*momento	3	7598.2657	2532.7552	0.20	0.8957
Abono*fert*momento	3	18267.1099	6089.0366	0.48	0.6949

Anexo 5. Análisis de varianza para el área foliar en plantas de *Agave angustifolia*.

<i>Fuente de variación</i>	<i>gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr > F</i>
Tratamiento	15	769728.337	51315.222	0.99	0.4672
Error	144	7451861.607	51749.039		
Total	159	8221589.944			

$r^2 = 0.093623$ CV= 33.97221

<i>Fuente de variación</i>	<i>gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr > F</i>
Abono	1	185.4665	185.4665	0.00	0.9523
Fert	3	287023.5204	95674.5068	1.85	0.1410
Momento	1	216429.4312	216429.4312	4.18	0.0427
Abono*fert	3	84756.4434	28252.1478	0.55	0.6517
Abono*momento	1	49358.5741	49358.5741	0.95	0.3304
Fert*momento	3	35034.7197	11678.2399	0.23	0.8784
Abono*fert*momento	3	96940.1818	32313.3939	0.62	0.6003

Nutrientos

Anexo 6. Análisis de varianza para el contenido de Nitrógeno en hojas de *Agave angustifolia*.

<i>Fuente de variación</i>	<i>gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr > F</i>
Tratamientos	15	0.28655809	0.01910387	2.48	0.0062
Error	64	0.49356680	0.00771198		
Total	79	0.78012489			

$r^2 = 0.367323$ $CV = 10.55456$

<i>Fuente de variación</i>	<i>gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr > F</i>
Abono	1	0.04787311	0.04787311	6.21	0.0153
Fert	3	0.01624034	0.00541345	0.70	0.5543
Momento	1	0.01308161	0.01308161	1.70	0.1974
Abono*fert	3	0.13186694	0.04395565	5.70	0.0016
Abono*momento	1	0.00379501	0.00379501	0.49	0.4855
Fert*momento	3	0.03783184	0.01261061	1.64	0.1900
Abono*fert*momento	3	0.03586924	0.01195641	1.55	0.2101

Anexo 7. Análisis de varianza para el contenido de fósforo en hojas de *Agave angustifolia*.

<i>Fuente de variación</i>	<i>gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr > F</i>
Tratamientos	15	0.53827180	0.03588479	2.29	0.0115
Error	64	1.00326520	0.01567602		
Total	79	1.54153700			

$r^2 = 0.349179$ $CV = 41.15165$

<i>Fuente de variación</i>	<i>gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr > F</i>
Abono	1	0.03403125	0.03403125	2.17	0.1455
Fert	3	0.06602430	0.02200810	1.40	0.2498
Momento	1	0.08411045	0.08411045	5.37	0.0238
Abono*fert	3	0.02950365	0.00983455	0.63	0.6000
Abono*momento	1	0.02422080	0.02422080	1.55	0.2184
Fert*momento	3	0.18304745	0.06101582	3.89	0.0128
Abono*fert*momento	3	0.11733390	0.03911130	2.49	0.0678

Anexo 8. Análisis de varianza para el contenido de potasio en hojas de *Agave angustifolia*.

<i>Fuente de variación</i>	<i>gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr > F</i>
Tratamiento	15	1.08500889	0.07233393	0.63	0.8370
Error	64	7.31727560	0.11433243		
Total	79	8.40228449			

$r^2 = 0.129133$ CV= 24.38275

<i>Fuente de variación</i>	<i>gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr > F</i>
Abono	1	0.02234461	0.02234461	0.20	0.6599
Fert	3	0.30402664	0.10134221	0.89	0.4530
Momento	1	0.19850281	0.19850281	1.74	0.1923
abono*fert	3	0.39139454	0.13046485	1.14	0.3393
	1	0.02697451	0.02697451	0.24	0.6288
abono*momento					
fert*momento	3	0.01979314	0.00659771	0.06	0.9816
	3	0.12197264	0.04065755	0.36	0.7852
abono*fert*momento					

Anexo 9. Análisis de varianza para el contenido de calcio en hojas de *Agave angustifolia*.

<i>Fuente de variación</i>	<i>gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr > F</i>
Tratamiento	15	1.88550649	0.12570043	1.00	0.4700
Error	64	8.07479440	0.12616866		
Total	79	9.96030089			

$r^2 = 0.189302$ CV= 31.79860

<i>Fuente de variación</i>	<i>Gl</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fo</i>	<i>Pr > F</i>
abono	1	0.43232701	0.43232701	3.43	0.0688
fert	3	0.17907804	0.05969268	0.47	0.7021
momento	1	0.00970201	0.00970201	0.08	0.7824
abono*fert	3	0.31404514	0.10468171	0.83	0.4824
abono*momento	1	0.11881111	0.11881111	0.94	0.3355
fert*momento	3	0.42665014	0.14221671	1.13	0.3448
	3	0.40489304	0.13496435	1.07	0.3683
abono*fert*momento					

Anexo 10. Análisis de varianza para el contenido de magnesio en hojas de *Agave angustifolia*.

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Fo	Pr > F
Tratamiento	15	0.18182675	0.01212178	0.99	0.4808
Error	64	0.78739520	0.01230305		
Total	79	0.96922195			

$r^2 = 0.187601$ CV= 37.89192

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Fo	Pr > F
Abono	1	0.01409805	0.01409805	1.15	0.2884
Fert	3	0.02553505	0.00851168	0.69	0.5604
momento	1	0.01265045	0.01265045	1.03	0.3144
abono*fert	3	0.02739465	0.00913155	0.74	0.5308
abono*momento	1	0.00315005	0.00315005	0.26	0.6146
fert*momento	3	0.03027105	0.01009035	0.82	0.4875
abono*fert*momento	3	0.06872745	0.02290915	1.86	0.1449

Variables en tallos de plantas de *Agave angustifolia*

Anexo 11. Análisis de varianza para el incremento en diámetro de tallo de plantas de agave

Fuente de variación	Gl	SC	CM	Fo	Pr > F
Tratamiento	15	39.4375019	2.6291668	0.62	0.8550
Error	144	610.7100372	4.2410419		
Total	159	650.1475391			

$r^2 = 0.060659$ CV= 28.85567

Fuente de variación	gl	SC	CM	Fo	Pr > F
Abono	1	0.31435290	0.31435290	0.07	0.7858
Fert	3	20.89244605	6.96414868	1.64	0.1823
Momento	1	6.97809622	6.97809622	1.65	0.2017
Abono*fert	3	5.28315065	1.76105022	0.42	0.7423
Abono*momento	1	0.08001302	0.08001302	0.02	0.8909
Fert*momento	3	0.93041973	0.31013991	0.07	0.9743
Abono*fert*momento	3	4.95902333	1.65300778	0.39	0.7605

Anexo 12. Análisis de varianza para sólidos solubles totales °Brix en tallo de plantas de *Agave angustifolia*.

Fuente de variación	gl	SC	CM	Fo	Pr > F
Tratamiento	15	273.493750	18.232917	1.62	0.0751
Error	144	1620.500000	11.253472		
Total	159	1893.993750			

$r^2 = 0.144401$ CV= 13.15215

Fuente de variación	gl	SC	CM	Fo	Pr > F
Abono	1	77.0062500	77.0062500	6.84	0.0098
Fert	3	11.5187500	3.8395833	0.34	0.7956
Momento	1	2.7562500	2.7562500	0.24	0.6214
Abono*fert	3	58.4187500	19.4729167	1.73	0.1634
Abono*momento	1	1.8062500	1.8062500	0.16	0.6893
Fert*momento	3	100.2687500	33.4229167	2.97	0.0339
	3	21.7187500	7.2395833	0.64	0.5884
Abono*fert*momento					

Anexo 13. Análisis de varianza para peso fresco de tallo en plantas de *Agave angustifolia*.

Fuente de variación	gl	SC	CM	Fo	Pr > F
Tratamiento	15	1139060.13	75937.34	0.86	0.6105
Error	144	12724728.44	88366.17		
Total	159	13863788.57			

$r^2 = 0.082161$ CV= 37.68795

Fuente de variación	gl	SC	CM	Fo	Pr > F
Abono	1	15708.1511	15708.1511	0.18	0.6739
Fert	3	455891.8509	151963.9503	1.72	0.1656
Momento	1	150934.5914	150934.5914	1.71	0.1933
Abono*fert	3	146802.5821	48934.1940	0.55	0.6464
Abono*momento	1	89231.0912	89231.0912	1.01	0.3166
Fert*momento	3	92592.4014	30864.1338	0.35	0.7897
	3	187899.4611	62633.1537	0.71	0.5483
Abono*fert*momento					

Anexo 14. Análisis de varianza para peso seco de tallo en plantas de *Agave angustifolia*.

Fuente de variación	gl	SC	CM	Fo	Pr > F
Tratamiento	15	69131.4749	4608.7650	0.81	0.6599
Error	144	814577.1606	5656.7858		
Total	159	883708.6356			

$r^2 = 0.078229$ CV= 39.35147

Fuente de variación	gl	SC	CM	Fo	Pr > F
Abono	1	1141.88459	1 141.88459	0.20	0.6539
Fert	3	19668.17120	6556.05707	1.16	0.3276
Momento	1	10907.39794	10907.39794	1.93	0.1671
Abono*fert	3	6814.21545	2271.40515	0.40	0.7521
Abono*momento	1	670.02410	670.02410	0.12	0.7312
Fert*momento	3	15227.46615	5075.82205	0.90	0.4443
Abono*fert*momento	3	14702.31550	4900.77183	0.87	0.4602

Hijuelos

Anexo 15. Análisis de varianza para número de hijuelos en plantas de *Agave angustifolia*.

Fuente de variación	gl	SC	CM	Fo	Pr > F
Tratamiento	15	32.4937500	2.1662500	0.94	0.5177
Error	144	330.5000000	2.2951389		
Total	159	362.9937500			

$r^2 = 0.089516$ CV= 75.51260

Fuente de variación	gl	SC	CM	Fo	Pr > F
Abono	1	2.25625000	2.25625000	0.98	0.3231
Fert	3	10.11875000	3.37291667	1.47	0.2253
Momento	1	1.05625000	1.05625000	0.46	0.4986
Abono*fert	3	5.46875000	1.82291667	0.79	0.4990
Abono*momento	1	0.75625000	0.75625000	0.33	0.5668
Fert*momento	3	5.56875000	1.85625000	0.81	0.4910
Abono*fert*momento	3	7.26875000	2.42291667	1.06	0.3700

Anexo 16. Promedio por tratamiento de cada una de las variables evaluadas en las plantas de *Agave angustifolia* Haw.

Trat.	Variables evaluadas en plantas de <i>Agave angustifolia</i>									
	Δ de altura (cm)	No. de hijuelos	En Hojas				En tallo			
			Δ de No. de hojas	Área foliar (cm ²)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	ΔDiámetro (cm)	°Brix	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
Testigo	17.1	1	14.3	574.5	1179.0	228.22	6.16	22.0 b	659.0	171.63
C-SFLL-1	22.08	2	16.6	674.0	1443.9	265.84	7.14	26.2 a	775.0	183.64
C-TB-1	24.70	2	17.7	717.6	1454.1	286.51	7.67	26.4 a	861.9	227.29
C-NF-1	18.40	1	14.4	597.1	1278.0	234.65	6.43	26.4 a	654.2	170.33
C-MG-1	23.93	3	17.4	762.3	1665.3	302.15	7.88	25.7 a	852.7	218.77
C-SFLL-2	18.50	2	15.2	580.4	1160.1	219.85	6.22	28.0 a	677.0	170.64
C-TB-2	21.43	3	17.3	703.7	1729.0	314.91	7.30	25.0 a	841.0	193.44
C-NF-2	21.35	2	13.7	653.0	1414.2	262.74	6.65	26.1 a	780.2	201.91
C-MG-2	22.76	2	17.1	660.2	1483.7	276.96	7.46	25.8 a	788.8	184.36
V-SFLL-1	19.43	2	16.3	607.3	1265.9	230.82	6.96	21.8 b	695.7	171.71
V-TB-1	26.30	2	17.4	816.3	1765.5	344.21	7.84	24.6 a	901.7	182.56
V-NF-1	25.81	2	17.6	751.0	1538.0	308.33	7.63	25.3 a	911.4	213.07
V-MG-1	26.10	2	17.2	725.0	1495.0	295.93	7.22	26.6 a	903.7	227.71
V-SFLL-2	20.10	2	16.3	584.0	1162.0	208.26	6.60	26.0 a	697.0	163.46
V-TB-2	20.60	2	15.7	672.3	1505.1	282.37	7.35	24.4 a	830.4	195.61
V-NF-2	20.00	2	15.6	618.3	1515.1	274.62	6.61	24.5 a	763.8	188.96
V-MG-2	21.05	2	13.6	590.8	1262.1	247.98	7.23	25.3 a	686.2	164.58

C= Composta, V= Vermicomposta, SFLL= sin fertilizante de liberación lenta, TB=Turf Builder, NF= Numi Fer y MG= Miracle-Gro. FLL= Fertilizantes de Liberación Lenta, 1 = cantidad total del fertilizante en una aplicación y 2 = cantidad total del fertilizante repartida en dos aplicaciones. Δ= incremento. Valores de cada columna sin letra son estadísticamente iguales.

Anexo 17. Contrastes ortogonales en las variables evaluadas en las plantas de *Agave angustifolia*.

No de Contraste.	F.V	GI	Variables evaluadas en las plantas de <i>Agave angustifolia</i>									
			Δ altura	Hijuelos	En hojas				En tallo			
					Δ hojas	peso fresco	peso seco	área foliar	Δ diámetro	°Brix	peso fresco	peso seco
	trat.	16	73.24	2.41	22.51	366451.90	14132.67	53432.16	3.62	24.32 *	81099.57	4544.24
1	Nofer vs fer.	1	127.75	6.11	78.81 *	775392.53	18251.37	85210.42	9.03	115.70**	158533.10	3579.85
2	C vs V	1	24.26	2.25	0.05	8943.22	526.36	185.29	0.31	77.01**	15708.15	1142.22
3	C No FLL vs C FLL	1	48.95	3.75	2.01	612356.37	20300.39	45602.79	4.61	21.60	74539.02	7398.79
4	V No FLL vs VFLL	1	188.50	0.50	0.20	1345579.97*	79278.85 *	150006.51	4.32	22.20	279314.58	11619.51
5	C MO 1 vs C MO 2	1	64.08	0.05	9.80	402511.86	10574.61	43834.19	4.21	16.20	48050.83	845.02
6	V MO 1 vs V MO 2	1	2.24	0.05	0.00	53937.19	2544.35	2715.12	0.65	88.20	8.59	339.95
7	C FLL 1 vs C FLL 2	1	3.65	2.81	3.26	87701.91	1644.00	6017.63	0.54	4.27	2835.25	2243.32
8	V FLL 1 vs V FLL 2	1	457.05*	0.06	88.81*	444464.61	34321.75	282125.82 *	3.68	8.82	316748.48	9170.62
9	C TB 1 vs C NF, MG 1	1	83.30	1.06	21.60	2052.06	2198.15	9573.00	1.77	0.82	78426.05	7145.65
10	C TB 2 vs CNF, MG2	1	2.52	10.41*	24.06	522914.58	13537.64	14734.81	0.41	6.02	21276.35	0.60
11	V TB 1 vs V NF, MG 1	1	0.79	0.15	0.00	413309.95	11807.84	40549.14	1.14	12.15	276.38	9541.86
12	V TB 2 vs V NF, MG 2	1	0.03	0.06	8.06	90521.98	2960.34	30601.02	1.23	1.67	74056.63	2366.37
13	C NF 1 vs CMG 1	1	152.90	9.80*	45.00	750100.18	22848.12	136478.82	10.58	2.45	197055.91	11729.45
14	C NF2 vs C MG 2	1	9.94	1.25	57.80	24176.55	1010.30	259.14	3.26	0.45	376.61	1540.55
15	V NF 1 vs V MG 1	1	0.42	0.05	0.80	9249.08	768.68	3248.92	0.80	8.45	293.88	1071.48
16	V NF 2 vs V MG 2	1	5.51	0.20	20.00	320018.43	3549.96	3772.02	1.86	3.20	30093.35	2973.38
	Error	153	85.80	2.27	18.48	313818.76	12443.72	53093.11	4.29	11.53	89931.46	5519.85

F.V=Fuentes de variación, GI= grados de libertad; *= Valor de Fo significativo con $P \leq 0.05$, **= Valor de Fo altamente significativo con $(P \leq 0.01)$. C= Composta, V= Vermicomposta, SFLL= sin fertilizante de liberación lenta, TB=Turf Builder, NF= Numi Fer y MG= Miracle-Gro. FLL= Fertilizantes de Liberación Lenta, 1 = cantidad total del fertilizante en una aplicación y 2 = cantidad total del fertilizante repartida en dos aplicaciones. Δ= incremento

Anexo 18. Promedios por tratamiento de la concentración de nutrimentos en hojas de plantas de *Agave angustifolia*.

Tratamientos	Concentración de nutrimentos (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
Testigo	0.760	0.245	1.187	1.089	0.228
C-SFLL-1	0.909	0.407	1.473	1.080	0.260
C-TB-1	0.909	0.209	1.280	0.864	0.301
C-NF-1	0.815	0.243	1.330	1.080	0.323
C-MG-1	0.815	0.215	1.272	1.040	0.365
C-SFLL-2	8.815	0.254	1.507	0.920	0.287
C-TB-2	0.972	0.412	1.497	1.096	0.292
C-NF-2	0.784	0.309	1.328	1.220	0.294
C-MG-2	0.831	0.220	1.274	1.048	0.321
V-SFLL-1	0.800	0.349	1.181	1.080	0.396
V-TB-1	0.753	0.278	1.564	1.432	0.287
V-NF-1	0.847	0.182	1.283	1.036	0.197
V-MG-1	0.909	0.921	1.314	1.412	0.313
V-SFLL-2	0.784	0.368	1.414	1.072	0.214
V-TB-2	0.784	0.318	1.591	1.216	0.253
V-NF-2	0.815	0.484	1.454	1.284	0.284
V-MG-2	0.968	0.320	1.423	0.992	0.292

Anexo 19. Contrastes ortogonales en la concentración de nutrimentos en hojas de *Agave angustifolia*.

No. de Contraste	F.V	GL	Nutrimentos (%)				
			N	P	K	Ca	Mg
	Trat.	16	0.0194 **	0.0346**	0.0795	18042.936	0.0126
1	Nofer vs fer.	1	0.0247	0.0164	0.1885	1132.447	0.0198
2	C vs V	1	0.0478**	0.0340	0.0223	18999.882	0.0140
3	C No FLL vs C FLL	1	0.0004	0.0291	0.1931	12823.689	0.0139
4	V No FLL vs V FLL	1	0.0032	0.0152	0.1435	0.175	0.0087
5	C MO 1 vs C MO 2	1	0.0221	0.0589*	0.0028	0.064	0.0018
6	V MO 1 vs V MO 2	1	0.0006	0.0009	0.1413	0.0002	0.0831**
7	C FLL 1 vs C FLL 2	1	0.0018	0.0624*	0.0394	51307.990	0.0050
8	V FLL 1 vs V FLL 2	1	0.0167	0.1198*	0.0788	0.125	0.0008
9	C TB 1 vs C NF, MG 1	1	0.0295*	0.0012	0.0014	0.128	0.0060
10	C TB 2 vs CNF, MG2	1	0.0905**	0.0731*	0.1287	51182.347	0.0010
11	V TB 1 vs V NF, MG 1	1	0.0524**	0.0058	0.2354	0.144	0.0033
12	V TB 2 vs V NF, MG 2	1	0.0002	0.0255	0.0775	0.020	0.0041
13	C NF 1 vs C MG 1	1	0.0000	0.0020	0.0083	0.004	0.0042
14	C NF2 vs C MG 2	1	0.0054	0.0198	0.0071	153239.393**	0.0011
15	V NF 1 vs V MG 1	1	0.0098	0.0293	0.0023	0.353	0.0339
16	V NF 2 vs V MG 2	1	0.0055	0.0605*	0.0024	0.213	0.0001
Error		68	0.0073	0.0152	0.1094	18060.365	0.0117
Total		84					

F. V=Fuentes de variación, GL= grados de libertad; *= Valor de Fo significativo con $P \leq 0.05$, **= Valor de Fo altamente significativo con ($P \leq 0.01$). C= Composta, V= Vermicomposta, SFL= sin fertilizante de liberación lenta, TB=Turf Builder, NF= Numi Fer y MG= Miracle-Gro. FLL= Fertilizantes de Liberación Lenta, 1 = cantidad total del fertilizante en una aplicación y 2 = cantidad total del fertilizante repartida en dos aplicaciones. Δ = incremento

EXPERIMENTO II

Anexo 20. Análisis de varianza para el $N-NO_3^-$ para la primera fecha

Fuentes de variación	GL	SC	CM	F	P
Suelo	2	141548.0024	70774.0012	340.43	<.0001
Fertilizante	5	182132.6413	36426.5283	175.22	<.0001
Suelo* fertilizante	10	476325.6971	47632.5697	229.12	<.0001

$r^2 = 0.986162$ CV=30.68021

Anexo 21. Análisis de varianza para el N-NO₃⁻ para la segunda fecha.

<i>Fuentes de variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>P</i>
Suelo	2	32058.0238	16029.0119	16.39	<.0001
Fertilizante	5	172066.5998	34413.3200	35.18	<.0001
Suelo* fertilizante	10	60808.2612	6080.8261	6.22	<.0001

r²= 0.833762 CV=53.30358

Anexo 22. Análisis de varianza para N-NO₂⁻ para la primera fecha.

<i>Fuentes de variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>P</i>
Suelo	2	247.169744	123.584872	1.41	0.2523
Fertilizante	5	6403.700455	1280.740091	14.64	<.0001
Suelo* fertilizante	10	2523.234052	252.323405	2.88	0.0059

r² = 0.660091 CV= 110.5643

Anexo 23. Análisis de varianza para N-NO₂⁻ para la segunda fecha.

<i>Fuentes de variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>P</i>
Suelo	2	156026.848	78013.424	4.83	0.0118
Fertilizante	5	2214623.052	442924.610	27.42	<.0001
Suelo* fertilizante	10	664942.737	66494.274	4.12	0.0003

r²=0.776778 CV=124.0453

Anexo 24. Análisis de varianza para el contenido de N-NO₃⁻ en hojas de *Agave angustifolia*.

<i>Fuentes de variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>P</i>
Suelo	2	0.97268811	0.48634406	1.34	0.2695
Fertilizante	5	1.40475294	0.28095059	0.78	0.5712
Suelo* fertilizante	10	3.89001706	0.38900171	1.07	0.3975

r²= 0.242785 CV= 68.12911

Anexo 25. Análisis de varianza para el contenido de N-NO₂⁻ en hojas de *Agave angustifolia*.

<i>Fuentes de variación</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>P</i>
Suelo	2	2.32652498	1.16326249	8.58	0.0006
Fertilizante	5	4.49322719	0.89864544	6.62	<.0001
Suelo* fertilizante	10	1.83981697	0.18398170	1.36	0.2257

R= 0.541729 CV= 27.68652