

Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”

División de Ingeniería

Departamento de Suelos



Fertilización Química y Orgánica del Agave mezcalero (Agave angustifolia Haw)
en Oaxaca

Por:

Eulogio Cruz Juárez

Tesis

Presentada como Requisito Parcial para Obtener el Título de: **Ingeniero Agrónomo**

en la especialidad de suelos

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre del 2001

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE SUELOS

Fertilización Química y Orgánica del Agave mezcalero (Agave angustifolia Haw) en
Oaxaca.

Por

EULOGIO CRUZ JUÁREZ

T e s i s

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO

REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER

EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRONOMO

EN LA ESPECIALIDAD DE SUELOS

APROBADA

PRESIDENTE DEL JURADO
M. C. RICARDO REQUEJO LÓPEZ

M. C. FELIPE ABENCERRAJE RODRÍGUEZ
VOCAL

M. C. CARLOS ARREDONDO VELÁZQUEZ
VOCAL

M. C. LUIS EDMUNDO RAMÍREZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEDICATORIA

A mis padres: ANTONIO CRUZ CRUZ†

JOVITA JUAREZ MENDOZA

Por su inquebrantable voluntad de trabajo y esfuerzos para la culminación de mis estudios

A mi Esposa: CONCEPCION MORALES DOMINGUEZ

A mis hijos: MARCO ANTONIO Y TERESA A. CRUZ MORALES

A mi suegra: doña TERESA DOMINGUEZ TAPIA

A mis hermanos: ALICIA, IRMA, TERE Y EDGARDO con cariño eterno

A mis tíos: JUAN Y MARCIAL CRUZ CRUZ

A mis maestros de la especialidad de suelos con admiración y respeto

A mi Alma Mater, que me brindó la oportunidad para formarme académicamente.

Al Ing. Antonio Rincón R. por sus valiosas aportaciones con sus experiencias de campo en el cultivo de agave mezcalero.

RECONOCIMIENTO

Al M. C. Carlos Arredondo Velázquez, Investigador del Campo Agrícola Experimental de Valles Centrales de Oaxaca, por su apoyo y asesoría para la realización de este trabajo, así como por su comprensión y amistad, ya que con su amplia experiencia profesional, contribuye con la investigación que se genera en el país. GRACIAS

AGRADECIMIENTOS

A los CC. M. C. RICARDO REQUEJO LOPEZ, M. C. FELIPE ABENCERRAJE RODRIGUEZ por su valiosa revisión y sugerencias para la culminación de este proyecto

A los agricultores de la región mezcalera, principalmente a los C.C. Francisco Bautista García, Lucio Cortés Cortés, Jorge Díaz Robles, Carino Baltazar Ramírez Aragón, Moisés Hernández y Alfonso Cerero Ojeda. Por su valiosa cooperación para el establecimiento de los experimentos de fertilización en sus respectivas parcelas.

Al CIBEJ-CONACYT Institución encargada del financiamiento de los proyectos de investigación en el estado.

Al Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca (CEVOAX) del Centro de Investigación Regional Pacífico Sur (CIRPAS), pertenecientes al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por las facilidades brindadas y que con su cuerpo de investigadores realizan valiosas aportaciones al agro en el estado de Oaxaca. Así como a su personal de campo que apoyaron decididamente hasta la culminación de los trabajos

INDICE

	Pag.
DEDICATORIA	i
RECONOCIMIENTO	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE	iv
INDICE DE CUADROS Y FIGURAS	vii
I INTRODUCCIÓN	1
II REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Características generales de los agaves	3
2.1.1 Origen y clasificación taxonómica	3
2.1.2 Descripción botánica	4
2.1.3 Metabolismo para la fijación de CO ₂	4
2.1.4 Aprovechamiento de los agaves	6
2.1.5 Denominación de origen del mezcal.....	6
2.2 Marco de referencia del agave mezcalero en Oaxaca.....	7
2.2.1 Importancia socioeconómica.....	7
2.2.2 Areas magueyeras.....	9
2.2.3 Proceso de cultivo del agave mezcalero.....	10
2.2.4 Proceso de transformación de la materia prima a mezcal.....	12
2.3 Problemática edafológica del agave mezcalero.....	13
2.3.1 Principales unidades de suelos.....	13
2.3.2 Pérdida de la cubierta vegetal por cambios en el uso del suelo.....	14
2.3.3 Pérdida del suelo y su fertilidad.....	15
2.3.4 La práctica de la fertilización en la región del mezcal.....	16
2.4 Productividad del suelo y fertilización.....	16
2.4.1 Aplicación de fertilizantes minerales o químicos.....	19
2.4.2 Aplicación de abonos orgánicos.....	20
	25

2.5 Métodos para determinar recomendaciones de fertilización.....	27
2.6 Mediciones para evaluar respuestas a fertilización en agaves.....	29
2.7 Investigaciones de fertilización en agave.....	32
2.8 Fertilización en plantaciones comerciales de agaves.....	35

III MATERIALES Y METODOS

3.1. Definición de sitios.....	37
3.2. Diseño experimental y tratamientos.....	39
3.2.1 Descripción de los fertilizantes orgánicos utilizados.....	41
3.2.2 Descripción de los fertilizantes químicos utilizados.....	41
3.3. Trabajo de campo.....	43
3.4. Análisis de suelos.....	43
3.5. Análisis de hoja y “piña” del agave mezcalero.....	44
3.6. Información climática.....	44
3.7. Análisis estadístico.....	45
3.8. Análisis económico.....	46

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización de los sitios al inicio de los experimentos.....	46
4.1.1. Suelos.....	46
4.1.2. Plantaciones.....	47
4.2. Respuesta del agave mezcalero a la fertilización orgánica.....	50
4.2.1. Efecto de la aplicación individual: estiércol (E), composta (C) ó micorriza (M) en el crecimiento del agave mezcalero.	53
4.2.2. Efecto combinado de la aplicación de dos elementos (EC,EM ó CM) en el crecimiento del agave mezcalero	54
4.2.3. Efecto combinado de la aplicación de tres elementos (ECM).....	58

4.2.4. Efecto de los tratamientos adicionales.....	61
4.2.5. Efecto de la fertilización orgánica en el contenido de N,P,K, azúcares y almidones en hoja de agave mezcalero..	68
4.2.6. Efecto de la fertilización orgánica en el peso de “piñas”.....	
4.2.7. Interrelación entre las variables de crecimiento y peso de piñas.....	74
4.2.8. Análisis económico de los tratamientos de la fertilización orgánica.....	74
4.3. Respuesta a la fertilización química.....	78
4.3.1. Efecto de la aplicación individual (N,P ₂ O ₅ , K ₂ O).....	
4.3.2. Efecto de la aplicación combinada (N-P ₂ O ₅ , N - K ₂ O ó P ₂ O ₅ - K ₂ O).....	82
4.3.3. Efecto de la aplicación integrada de los tres elementos (N-P ₂ O ₅ - K ₂ O).....	83
4.3.4. Efecto de los tratamientos adicionales	87
4.3.5. Efecto de la fertilización química en el contenido de N,P,K, azúcares y almidones en hojas de agave mezcalero.....	91
4.3.6. Efecto de la fertilización química sobre el peso de piñas....	
4.3.7. Efecto de la fertilización química en el contenido de N,P,K, azúcares y almidones en piña de agave mezcalero.....	93
4.3.8. Interrelación entre las variables de crecimiento y el peso de piñas.....	100
4.3.9. Análisis económico de los tratamientos de la fertilización química.....	102
4.4 Características del clima.....	105
	115

V CONCLUSIONES

VII BIBLIOGRAFIA

VIII APENDICE

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadros		Pag.
1	Importancia del agave mezcalero en Oaxaca	7
2	Productores de agave mezcalero que fertilizan sus plantaciones.....	17
3	Características principales de los sitios de prueba y de las plantaciones de agave mezcalero, Junio 1999.....	37
4	Tratamientos del experimento de fertilización orgánica.....	39
5	Tratamientos del experimento de fertilización química.....	40
6	Análisis físico y químico de los suelos de los sitios experimentales.....	47
7	Características generales de las plantaciones al inicio de la investigación (valores promedio por experimento, sitio y variable).....	48
8	Análisis de varianza, por sitio y variable, de los experimentos con significancia estadística para la interacción ECM.....	58
9	Análisis de varianza por sitio y variable, de los experimentos de fertilización orgánica, con significancia estadística para los tratamientos adicionales.....	59
10	Presencia de N,P,K, almidones y azúcares en hojas de agave mezcalero. Experimento de fertilización orgánica El coyul, Yautepec, Oax.....	64
11	Análisis de varianza para el peso de piña del experimento de fertilización orgánica. El Camarón, Yautepec, Oax.....	65
12	Peso promedio de las piñas del experimento de fertilización orgánica del Coyul, Yautepec, Oax.....	66
	Coeficientes de regresión entre las variables del experimento de	66

13	fertilización orgánica del Coyul, Yautepec.....	
	Coeficientes de regresión entre las variables del experimento de	69
14	fertilización orgánica del Camarón, Yautepec.....	
	Presupuesto parcial de los tratamientos de fertilización	70
15	orgánica.....	
	Tasas marginales de retorno para los tratamientos de	72
16	fertilización orgánica.....	
	Análisis de varianza para las variables donde hubo significancia	73
17	estadística para NPK.....	
	Análisis de varianza como bloques al azar de los tratamientos	81
18	adicionales de la fertilización química.....	
	Presencia de N,P,K, azúcares y almidones en la hoja del agave	83
19	en el experimento de fertilización química del Coyul,	
	Yautepec.....	
	Análisis de varianza para peso de piña de los experimentos de	86
20	fertilización química del distrito de Yautepec, Oax.....	
	Presencia de N,P,K, azúcares y almidones en piña del agave	89
21	mezcalero del experimento de fertilización química del Coyul,	
	Yautepec.....	
	Regresión múltiple de las variables del experimento de	93
22	fertilización química del Coyul, Yautepec.....	
	Coeficientes de correlación de las variables del experimento de	96
23	fertilización química del Camarón, Yautepec.....	
	Presupuesto parcial de los tratamientos de fertilización química.	96
24	Tasas marginales de retorno para los tratamientos de	97
25	fertilización química.....	
	Efecto individual de los componentes de la fertilización orgánica	98
1A	sobre el crecimiento del agave mezcalero a través de los	
	incrementos logrados en todas las variables estudiadas.....	
	Efecto de la combinación doble de los componentes de	115
2A	fertilización orgánica, sobre los incrementos logrados a través	

	de todas las variables estudiadas.....	
3A	Análisis de varianza para los incrementos en altura de planta de los experimentos de fertilización orgánica.....	116
4A	Análisis de varianza para los incrementos en diámetro de planta de los experimentos de fertilización orgánica.....	117
5A	Análisis de varianza para los incrementos en el número de hojas nuevas de los experimentos de fertilización orgánica.....	117
6A	Análisis de varianza para los incrementos en longitud de cogollo de los experimentos de fertilización orgánica.....	118
7A	Análisis de varianza para los incrementos en diámetro de cogollo de los experimentos de fertilización orgánica.....	118
8A	Obtención de valores para bonificación por azúcares.....	119
9A	Efecto individual de los componentes de la fertilización química sobre el crecimiento y desarrollo del agave a través de los incrementos logrados en todas las variables y sitios.....	119
10A	Efecto de la fertilización química combinada NP,NK,PK sobre el crecimiento del agave a través de sus incrementos en todas las variables estudiadas.....	120
11A	Análisis de varianza para los incrementos en altura de planta de los experimentos de fertilización química.....	121
12A	Análisis de varianza para los incrementos en diámetro de planta de los experimentos de fertilización química.....	122
13A	Análisis de varianza para los incrementos en el número de hojas por planta de los experimentos de fertilización química.....	122
14A	Análisis de varianza para los incrementos de longitud de cogollo de los experimentos de fertilización química.....	123
15A	Análisis de varianza para los incrementos en diámetro de cogollo de los experimentos de fertilización química.....	123
16A	Efecto individual y de dos componentes de la fertilización química sobre la variable peso de piñas. El Coyul, Yautepec, Oax	124
	Efecto individual y de dos componentes de la fertilización	124

17A	química sobre la variable peso de piñas. El Camarón, Yautepec..	
	Precipitación pluvial (mm) de las estaciones climatológicas cercanas a los sitios experimentales.....	125
18A	Temperaturas medias (°C) de las estaciones climatológicas cercanas a los sitios experimentales.....	125
19A		126

FIGURAS

	Localización geográfica de la región del mezcal en Oaxaca.....	
1	Altura de planta, efecto individual (Etlá).....	8
2	Altura de planta, efecto EC (Etlá).....	52
3	Diámetro de cogollo, efecto EC (Guelavila).....	52
4	Altura de planta, efecto EM (Etlá).....	52
5	Efecto ECM, altura de planta (Etlá).....	52
6	Efecto ECM, diámetro de planta (Camarón).....	55
7	Efecto ECM, diámetro de planta (Guelavila).....	55
8	Efecto ECM, diámetro de cogollo (Camarón).....	55
9	Incrementos en altura de planta (cm). Etlá.....	55
10	Incrementos en diámetro de planta (cm). El Camarón, Yautepec.	57
11	Incrementos en diámetro de planta (cm). Guelavila.....	57
12	Incrementos en diámetro de cogollo (cm). El Camarón, Yaut.....	57
13	Contenidos de fósforo en hojas de agave. El Coyul, Yautepec....	57
14	Contenidos de azúcares (%) en hojas de agave mezcalero. El Coyul, Yautepec.	63
15	Pesos de “piñas” de agave mezcalero. Experimento El Camarón, Yautepec.	63
16	Peso de “piñas” de agave mezcalero. Experimento El Coyul, Yautepec, Oax.....	67
17	Efecto del nitrógeno en altura de planta (Guelavila).....	67
18	Efecto del nitrógeno en hojas nuevas (Guelavila).....	76
19	Efecto de N en longitud de cogollo (Guelavila).....	76

20	Efecto de N en diámetro de cogollo (Guelavila).....	76
21	Efecto del fósforo en altura de planta (Guelavila).....	76
22	Efecto del potasio en altura de planta (CEZ).....	77
23	Efecto N*P en altura de planta (CEZ).....	77
24	Efecto N*K en altura de planta (Ejutla).....	79
25	Efecto NPK en altura de planta (CEZ).....	79
26		84
	Tratamientos adicionales a la fertilización química. Altura de	
27	planta (Guelavila).....	
	Tratamientos adicionales a la fertilización química en número de	84
28	hojas nuevas (Guelavila)	
	Tratamientos adicionales a la fertilización química en diámetro	85
29	de cogollo (Guelavila).....	
	Efecto de la fertilización química en el peso de “piñas”. El	85
30	Coyul, Yautepec.....	
	Efecto de la fertilización química en peso de “piñas”. El	90
31	Camarón, Yautepec.....	
	Contenidos de Nitrógeno en “piñas” de agave mezcalero. El	90
32	Coyul, Yautepec.....	
	Contenidos de fósforo en “piñas” de agave mezcalero. El Coyul,	92
33	Yautepec.....	
	Contenidos de azúcares en “piñas” de agave mezcalero. El	92
34	Coyul, Yautepec.....	
	Contenidos de almidones en “piñas” de agave mezcalero. El	94
35	Coyul, Yautepec.....	
		94

I. INTRODUCCION

El agave mezcalero ó “espadín” (*Agave angustifolia* Haw) es un maguey de gran importancia económica para Oaxaca, por ser la materia prima para la elaboración del mezcal, bebida tradicional que se produce en el Estado.

La primera plantación de maguey espadín se realizó a principios de 1900 en terrenos de Matatlán, Tlacolula, Oax. Este maguey es el que ha merecido la máxima atención de quienes lo cultivan debido a que produce las piñas más grandes y de mayor concentración de azúcares. El cultivo de esta variedad se extendió rápidamente a todas las zonas productoras de mezcal como Miahuatlán, Ejutla y en el distrito de Yautepec (Sibaja, 1989). En la actualidad, en Oaxaca existe una zona reconocida como “Región del Mezcal”, donde se cultivan alrededor de 11,756 hectáreas de agave mezcalero, abarcando aproximadamente 59 municipios y 152 comunidades (ICAPET, 1999).

Del total de productores que cultivan agave mezcalero, un 14% aplica abono natural, un 4% realiza la fertilización química y la gran mayoría (82%) no fertiliza su maguey.

Las plantaciones de agave mezcalero que se desarrollan en lomerío y montaña se caracterizan por disponer de suelos de baja fertilidad, mínimo espesor, alta pendiente y pedregosidad; lo que contribuye al empobrecimiento y erosión del suelo. La erosión se incrementa por sembrarse maguey en terrenos accidentados que presentan pendientes superiores a los 15° e incluso rebasan los 45°; la práctica cultural de los deshierbes manuales, deja descubierto el suelo e impide la aportación de materia orgánica al suelo. Aunado a lo anterior, la forma

de plantación, no toma en cuenta las curvas de nivel, ni la pendiente del terreno (Palma, 1989).

En la parte de la planicie, la plantación predominante es el maguey con maíz y frijol intercalados durante los tres primeros años de crecimiento del maguey. Por la pobreza de los suelos y la nula fertilización, se establece una fuerte competencia entre cultivos por nutrientes, luz y agua.

El objetivo del presente trabajo es generar las primeras aproximaciones sobre fuentes y dosis de la fertilización mineral y orgánica, para conservar la fertilidad y productividad de los suelos en el cultivo del agave mezcalero de Oaxaca.

Las hipótesis que se plantean son las siguientes: existe respuesta individual y/o de conjunto a la fertilización mineral con nitrógeno, fósforo y potasio. Existe respuesta individual y/o de conjunto a la fertilización orgánica con composta, estiércol y micorriza. Al menos un tratamiento, ya sea de fertilización química o fertilización orgánica, es estadísticamente superior al testigo absoluto. Finalmente, mediante mediciones de variables de crecimiento no destructivas es posible conocer, en el corto plazo, la respuesta del agave mezcalero a los tratamientos de fertilización aplicados.

Al realizar los primeros experimentos sobre fertilización química y orgánica en agave mezcalero en Oaxaca, se pretende contribuir en la solución a esta problemática, dada la escasa investigación sobre este tema.

El trabajo de tesis queda comprendido dentro del proyecto de investigación No. 1692 titulado "Evaluación de la Respuesta del Agave Mezcalero (*Agave angustifolia* Haw) a la fertilización de plantaciones comerciales"; proyecto que se desarrolla en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en el Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca; contando con el apoyo financiero del mismo Instituto; del Sistema de Investigación Regional Benito Juárez (SIBEJ) del CONACYT; y de la colaboración de los productores de maguey del Distrito de Yautepec y de la Región de los Valles Centrales.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Características generales de los agaves.

2.1.1. Origen y clasificación taxonómica.

El género agave en griego significa “admirable” y fue descrito inicialmente por Linneo en 1753. México es considerado el centro de origen de la familia *Agavaceae*; de las aproximadamente 288 especies que se distribuyen en el Continente Americano, en México se encuentra la mayor diversidad con 217 especies, de las cuales 151 son endémicas; los estados más ricos en número de especies son: Oaxaca, Chihuahua, Sonora, Coahuila, Durango y Jalisco (Ramírez, 1936; CONABIO, 1997; García-Mendoza, 1998).

La relación taxonómica para la principal especie de agave mezcalero cultivada en Oaxaca, según (Cronquist, 1981; Gentry, 1982) citados por Granados (1993), es la siguiente:

División:	<i>Angiospermae</i>
Clase:	<i>Monocotyledoneae</i>
Orden:	<i>Liliales</i>
Familia:	<i>Agavaceae</i>
Subfamilia:	<i>Agavoideae</i>
Género:	<i>Agave</i>
Subgénero:	<i>Euagave</i>
Grupo:	<i>Rigidae</i>
Especie:	<i>Agave</i>
Nombre científico:	<i>Agave angustifolia</i> Haw.
Nombre común:	Magüey espadín, magüey mezcalero, magüey.

2.1.2. Descripción botánica.

El maguey consta de una raíz fibrosa y exuberante que se combina con otras más gruesas llamadas rizomas, las cuales crecen cerca de la superficie de la tierra, en el momento que estas llegan a tener contacto con el sol, desarrollan una yema formando un hijuelo; cuando el suelo de alrededor se mantiene limpio crecen más hijuelos. (Gobierno del Estado de Oaxaca *et al.*, 1997). Su tallo es grueso y corto del que salen las hojas conocidas como pencas, son de color verde, gruesas y cóncavas, con púas en los bordes y una espina en el extremo superior, hojas revestidas de una cutícula apergaminada muy resistente que le sirve para impedir la pérdida de agua, todas las hojas se encuentran colocadas alrededor del tallo formando una roseta. Florece una vez en su vida; cuando está próximo a florecer sale del centro de la planta un escapo floral que se le da el nombre de “quiote”, alcanza una altura de 3-5 metros, brotando en su parte superior la inflorescencia en forma de panícula (Villalvazo, 1986). Los racimos de flores son de color amarillo verdoso, protándricas con perianto infundiliforme de tubo corto y seis segmentos casi iguales; seis estambres filamentosos filiformes, más largos que los segmentos del périgonio, con anteras amarillentas, ovario ínfero trilocular, tricarpelar, con placentación axilar, multiovulada; fruto capsular leñoso alargado, dehiscente con numerosas semillas aplanadas algo triangulares de testa negra (Gentry, 1982 citado por José, 1995). De la panícula floral se pueden obtener semillas, siendo su ciclo de reproducción largo, por lo que se opta por la multiplicación por bulbilos que se obtienen al podar las flores y posteriormente de ahí brotan las pequeñas plantitas, un quiote puede dar de 500-2000 plantas; esta es otra forma de reproducción (apomictica) de la planta.

2.1.3. Metabolismo para la fijación de CO₂.

Los agaves son plantas con metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), que se caracterizan por la capacidad que tienen sus células con cloroplastos para fijar cantidades significativas de CO₂ en la oscuridad, lo que conduce a la síntesis y acumulación de ácido málico en la vacuola, el conocimiento práctico de ésta senda fotosintética y el estudio de las características ambientales donde se

desarrollan las plantas, facilitan la estimación de la productividad de estas (José y García, 1995).

Sobre las sendas fotosintéticas que utilizan, (Nobel, 1998) indica que el 93% de las 300,000 especies de plantas son C_3 y para fijar el carbono usan la senda fotosintética C_3 (Ciclo de Calvin-Benson). Por su parte, las plantas que usan la senda C_4 , forman compuestos de cuatro carbonos, el malato y el aspartato. Solo el 1% de todas las plantas usan la senda C_4 , ejemplo de estas especies de importancia agronómica son el maíz, sorgo y la caña de azúcar.

La senda CAM es la tercera senda involucrada en la fijación del CO_2 en las plantas, la cual se presenta en el 6% de las especies vegetales. Entre las especies CAM se encuentran las agronómicamente importantes como la piña, las suculentas de las zonas áridas y semiáridas (agaves y cactus) y las epífitas tropicales (la mayoría de las orquídeas). En esta senda que incluye aspectos de las dos (C_3 y C_4) se encuentra los agaves. La fijación inicial de CO_2 en las plantas CAM involucra a la PEPCasa y tiene lugar durante la noche, mientras que la fijación del CO_2 en las plantas C_3 y C_4 se da durante el día.

Las plantas CAM también fijan CO_2 durante el día, pero gran parte del CO_2 proviene de los compuestos dentro de las plantas que ya han incorporado CO_2 durante la noche anterior. La fijación diurna del CO_2 en las plantas CAM usa la enzima Rubisco y la senda fotosintética C_3 .

En los agaves, la apertura de las estomas ocurre principalmente durante la noche con la subsiguiente toma de CO_2 , lo que conduce a una acidificación gradual del tallo. En consecuencia, los agaves acumulan CO_2 durante la noche para su uso diurno en la fotosíntesis y de manera simultánea conservar el agua almacenada en los tallos.

La toma y retención de CO_2 para el uso posterior de las plantas requiere que se fije a algunas moléculas orgánicas en la célula. Hay dos enzimas que son importantes para la fijación del CO_2 en las plantas: 1). fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPCasa) que fija HCO_3^- ; y 2). ribulosa 1-5 bifosfato carboxilasa/oxigenasa (Rubisco), que fija CO_2 y está presente en los cloroplastos de todas las plantas.

2.1.4 Aprovechamiento de los agaves.

Los agaves han sido utilizados por el hombre desde tiempos precolombinos para la elaboración de bebidas fermentadas (aguamiel, jarabes, pulque y vinagre); en comidas, condimentos y saborizantes. Diversas partes son utilizadas con fines medicinales. El quiole y las hojas para la construcción de viviendas. Sus fibras para la elaboración de tejidos o vestuario. Las hojas y las piñas secas se utilizan como combustible. En el área agrícola sirven para deslindar terrenos, formar y proteger terrazas, cercas protectoras, protección contra la erosión (Nobel, 1998). Actualmente la mayoría de los agaves cultivados y silvestres aprovechados en Oaxaca, son utilizados para la producción de mezcal.

2.1.5. Denominación de origen del mezcal.

En 1994 se establece una Norma Oficial Mexicana (NOM-070-SCFI-1994) sobre las características y especificaciones que deben cumplir los usuarios autorizados para producir y comercializar la bebida alcohólica destilada denominada mezcal y elaborada con agaves de las siguientes especies:

A. angustifolia Haw (“maguey espadín”)

A. esperrima jacobi, Amarilidáceas (“maguey de cerro”, “bruto o cenizo”)

A. weberi cela, Amarilidáceas (“maguey de mezcal”).

A. potatorum Zucc, Amarilidáceas (“maguey de mezcal”).

A. Salmiana Otto ex salm ssp *crassispina* (Trel) Gentry (“maguey verde o mezcalero”); y otras especies de agave, siempre y cuando no sean utilizadas como materia prima para otras bebidas con denominaciones de origen dentro del mismo Estado. La siembra, cultivo y extracción de la materia prima se desarrolla en los estados de Guerrero, Oaxaca, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas.

2.2. Marco de referencia del agave mezcalero en Oaxaca.

2.2.1. Importancia socioeconómica.

Según la Norma Oficial mexicana (NOM-070-SCFI-1994) publicada en el Diario Oficial de la Federación (1997), en el estado de Oaxaca existe una zona denominada “Región del Mezcal”. En esta región (Figura 1) se cultivan alrededor de 11,756 hectáreas de agave mezcalero, localizándose la mayoría de ellas en dos regiones principales: Valles Centrales (Distritos de Tlacolula, Zimatlán, Ejutla, y Ocotlán) y Sierra Sur (Yautepec, Miahuatlán y Sola de Vega), cubriendo aproximadamente 59 municipios y 152 comunidades (Cuadro 1).

Cuadro 1. Importancia del agave mezcalero en Oaxaca.

Distritos	Cultivadores de maguey	Has con Maguey	Total de Plantas	Productores de mezcal	Litros Producidos
Tlacolula	1,879	4,392.1	4'955,837	129	1'663,540
Yautepec	1,354	3,284.2	3'584,736	167	1'176,183
Miahuatlán	984	1,023.1	1'066,806	45	124,750
Ejutla	1,090	1,788.3	929,572	72	293,966
Ocotlán	527	775.8	481,344	12	131,270
Zimatlán	66	129.2	110,170	8	5,874
Sola de vega	349	363.4	201,088	31	38,185
Total	6,249	11,756.2	11'329,553	464	3'433,768

FUENTE: ICAPET, 1999 | Censo de Mezcal del Estado de Oaxaca.

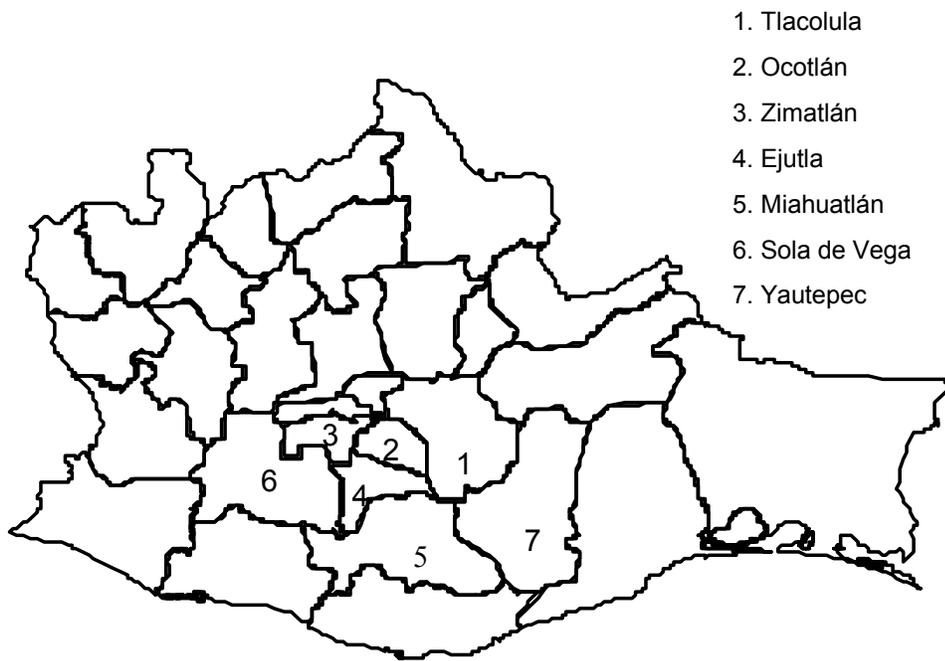
Dependen de esta actividad 6,249 jefes de familia localizados principalmente en los distritos de Tlacolula, Yautepec y Ejutla. De este total de productores de materia prima, el 7.4% también son productores de mezcal. Por ser una planta que se desarrolla en condiciones agrestes y adversas, las áreas productoras de agave mezcalero coinciden con las áreas de alta marginación social. Un 44.5% de los productores cultiva su maguey en terreno propio, un 30.7% en terrenos ejidales y un 20.8% en terrenos comunales. El productor de maguey participa en un 82.7% directamente en la realización de las actividades que requiere el cultivo.

La producción anual de mezcal es de 3.5 millones de litros, de los cuales un 40% se destina a la exportación y el resto para el mercado local y nacional. Cerca del 50% de esta producción, se genera en el distrito de Tlacolula, específicamente en los palenques localizados en Matatlán y Tlacolula.



- 1. Durango
- 2. Zacatecas
- 3. San Luis Potosí
- 4. Guerrero
- 5. Oaxaca

Entidades federativas con denominación de origen Mezcal



- 1. Tlacolula
- 2. Ocotlán
- 3. Zimatlán
- 4. Ejutla
- 5. Miahuatlán
- 6. Sola de Vega
- 7. Yautepec

Distritos políticos en la Región del Mezcal en Oaxaca

Figura 1. Localización geográfica de la Región del Mezcal en Oaxaca.

Actualmente el cultivo del agave mezcalero ha tenido un repunte comercial en Oaxaca, debido al crecimiento de las exportaciones del mezcal y a la gran demanda de materia prima por parte de empresarios del estado de Jalisco para la elaboración del tequila, resultando un cultivo rentable. Hasta hace 3-4 años, la carga de piñas de maguey de una camioneta de 3 toneladas era de \$ 1,800-2,500, lo que significaba un precio por kilo de piña de \$ 0.60-0.85. En estas fechas, su valor es de \$ 8,000-12,000 lo que significa un precio por kilo de piña de \$ 2.7-4.0. Ante esta situación, en el corto y mediano plazo, se requerirá incrementar la producción y la obtención de piñas en el menor tiempo posible para satisfacer esta demanda y aprovechar los precios del mercado.

2.2.2. Areas magueyeras.

El área magueyera de la Región de los Valles Centrales se localiza en un estrato altitudinal de 1,300-1,700 msnm, con una temperatura media de 20.3°C y una precipitación anual de 644 mm; sus climas predominantes son el BS₁ y (A) C.

En la Región Sierra Sur, sobre todo Yautepec, el estrato altitudinal es de 800-1200 msnm, con una temperatura media de 23.7°C y una precipitación de 609.3mm, los climas predominantes son BS₁ y BS₀ (García, 1973).

Comparando esta información climática con la existente para agave tequilero, se observan ciertas similitudes entre estas dos especies; por ejemplo, *A. tequilana* se desarrolla bien en sitios no expuestos a cambios bruscos de temperatura, sobre todo cuando la temperatura baja a (-3°C), con una media cercana a los 20°C. Las temperaturas óptimas para su crecimiento, son de 30°C durante el día y 15°C durante la noche. Aunque con menos influencia, las altas temperaturas 35°C/25°C, también afectan al maguey azul disminuyendo su capacidad de fijación neta diaria de CO₂. Las lluvias deben ser cercanas a un metro anual (600-800 mm), la falta de agua provoca que la planta tarde más tiempo en madurar y, por el contrario, el exceso reduce el contenido de azúcares. La altitud media debe ser cercana a 1500 msnm, y haber un cielo despejado entre 300 y 265 días al año (Nobel *et al.*, 1998; SAGAR-ASERCA, 2000; Valenzuela, 2000).

Es importante señalar que el aspecto fitosanitario incide en la productividad del agave mezcalero en Oaxaca, repercutiendo directamente en la economía de las familias involucradas en el cultivo (López, 1989). Las principales plagas que afectan al cultivo son: el “picudo”(*Scyphophorus acupunctatus*) y en plantas chicas, el “toro” ó Gallina ciega (Coleóptero), con daños que van del 20% al 50% (López, 1989; Sánchez, 1989; Zárte *et al.*, 1998).

Las enfermedades principales son: la “Secazón”, producida por una bacteria del género *Erwinia*. “Punta seca”, producida por el hongo del género *Fusarium* y la “Mancha cebra” producida por *Alternaria sp.* Se supone que la diseminación de plagas y enfermedades se debe a que los productores no realizan aplicaciones de pesticidas agrícolas, siembran en los mismos terrenos cosechados anteriormente y que ya tienen baja fertilidad, lo que repercute en crecimiento de plantas débiles o susceptibles a estos patógenos (López, 1989).

2.2.3. Proceso de cultivo del agave mezcalero.

La preparación del terreno para el establecimiento de una plantación de agave mezcalero es la siguiente: en terrenos planos, donde se pueden realizar mecánicamente las labores de cultivo, se da un barbecho, un paso de rastra y el surcado. En terrenos de laderas y accidentados, se utiliza el sistema roza-tumba-quema.

El material vegetativo a utilizarse para la nueva plantación, generalmente procede de reproducción asexual ó apomictica; este método de reproducción consiste en seleccionar, por sanidad y vigor, plantas que inician su madurez fisiológica (“plantas madres”), a las que se les proporcionan cuidados especiales como riego y abonado. Cuando emiten su inflorescencia (mayo–junio) y las flores aún estén en botón, se procede a podarlas, es decir, se cortan las 2/3 partes de la estructura de los tépalos con estambres, para inducir el proceso apomictico, después de cinco meses (octubre-diciembre) se producen los bulbilos o magueyitos, los cuales son seleccionados en función de su tamaño. La preparación del vivero para el crecimiento de los magueyitos, se hace en el patio de la casa del productor para poder realizar los riegos, deshierbes y cuidados

necesarios. Aquí permanecen de 9–19 meses hasta que alcanzan una altura de 30-35 cm para ser trasplantados al terreno definitivo al inicio de la temporada de lluvias.

Otra forma de reproducción asexual es la utilización de hijuelos rizomatosos, estos se obtiene de plantas ya establecidas en campo, las cuales durante sus primeros 2-4 años emiten hijuelos que son seleccionados por su vigor y por su tamaño, considerándose de primera los emitidos en los primeros años, y como de segunda los emitidos posteriormente. Estos hijuelos también son llevados a un vivero para que alcancen el crecimiento adecuado para su trasplante definitivo.

El material vegetativo disponible ya sea apomictico ó de rizoma, se transplanta a su lugar definitivo en los meses de junio y julio, aprovechando la temporada de lluvias. Se hacen cepas de 20 cm de profundidad a una distancia de 1.5-2.0 entre plantas y 2.0-2.5m entre hileras. Se realizan deshierbes cada año, aflojando al mismo tiempo la tierra para un mejor desarrollo de las plantas. Del tercero al sexto año, se cortan las hojas bajas o secas que obstaculizan el paso de la yunta o del tractor, así mismo, se colectan los hijuelos que producen las plantas entre el segundo y cuarto año.

En terrenos planos, durante los primeros tres años del maguey, se intercalan cultivos como maíz, higuierilla, frijol o calabaza. De los cuidados que se les dan a estos cultivos asociados, se puede beneficiar al maguey; después de este tiempo, el espacio se reduce y la competencia por nutrimentos, agua y luz se incrementa y puede repercutir en el crecimiento del maguey.

Entre el sexto y séptimo año, cuando se inicia la emisión de la floración, se realiza el “desquiate” o “capado”, que consiste en cortar el escapo floral cuando empieza a emerger, esto se hace con la finalidad de que la piña aumente su tamaño, al aprovechar y concentrar las reservas alimenticias que ya no serán destinadas a la fructificación. Uno año después del capado, se realiza la cosecha cortando las hojas con machetes y con barretas se procede a cortar las raíces y el arranque de las piñas, dejándolas listas para ser transportadas a la fábrica de mezcal.

El transporte de las piñas de maguey se hace en camionetas de redilas con capacidad de carga de tres toneladas, siendo esta la unidad de medida más común, es poco frecuente que se haga el pesado de piñas.

El número de plantas de maguey por hectárea varía de las 800-1,600 en los sistemas intercalados, a las 2,000-2,500 en los sistemas intensivos. El rendimiento por unidad de superficie es variable dependiendo del sistema de producción (intercalado con cultivos básicos o intensivo) y de la calidad de los suelos; se estiman rendimientos desde las 40 a 70 toneladas de piña por hectárea.

2.2.4. Proceso de transformación de la materia prima a mezcal.

Una vez transportadas las piñas al “palenque” (lugar donde se hace la cocción, molienda, fermentado, destilado y obtención del mezcal); las piñas son cortadas a la mitad para facilitar su acomodo en el horno. El cocimiento del maguey, se realiza en un horno de piso, de 4 m de diámetro y 2.5 m de profundidad, con capacidad para tres toneladas de piña. Se calienta con leña de encino y piedras, después se colocan las piñas y se tapa con bagazo, petates y la misma tierra derivada de la excavación, el horneado dura 72 horas. Las piñas una vez cocidas, pasan a una superficie de cemento o empedrada, en donde mediante un “molino chileno”, que consistente de una piedra circular que se hace girar por medio de tracción animal, las piñas se van moliendo hasta dejarlas totalmente desgarradas. La piña ya macerada pasa a unas tinajas de madera de hasta 2,000 litros de capacidad con agua caliente para su fermentación, la cual se realiza a base de levaduras (*Saccharomyces serviceae* principalmente), la mezcla se mueve con un bieldo lográndose la fermentación entre las 24-48 horas aproximadamente; en ocasiones se agrega sulfato de amonio para acelerar este proceso.

La destilación por lo general se hace en alambiques de cobre, aunque en palenques rústicos todavía se utilizan ollas de barro. Se aplica calor con leña de encino, se coloca el fermentado (caldo y bagazo) en el alambique y se cierra. Con el calor generado, el extracto alcohólico se evapora y mediante una serpentina enfriada con agua, se condensa y se obtiene el mezcal. El primer mezcal que sale se le denomina de “puntas” y se caracteriza por su alto grado alcohólico, después

se colecta el mezcal denominado “corazón” y finalmente las “colas” con un menor grado alcohólico, mezclándose todos ellos para que se uniformicen y comercializarlo con un grado alcohólico entre 45-50°Gay Lussac.

2.3. Problemática edafológica del agave mezcalero.

2.3.1. Principales unidades de suelos .

El *Agave angustifolia* Haw se cultiva en terrenos con pendientes mayores al 20%, esta condición de suelos representa el 62% de la superficie total de la región objeto de estudio. También se explota en áreas con pendientes menores que van del 5-15%. De acuerdo al factor profundidad del suelo, el 88% de la superficie de los Valles Centrales de Oaxaca, tiene condiciones limitantes para la actividad agropecuaria, por presentar suelos con profundidades menores de 1.0 metro (INIFAP, 1993).

En el estado de Oaxaca se localizan 12 unidades de suelos (FAO), las más importantes son regosol, litosol, cambisol y acrisol que juntas representan más del 80% de la superficie estatal (Cano *et al.*, 1998). En la zona agavera de estudio, los suelos corresponden a las siguientes unidades: regosol, feozem, litosol, y luvisol (INEGI, 1988); predominando el regosol y litosol, describiéndose a continuación sus principales características:

Regosoles (R): Son suelos de texturas arenosas y sueltas, con drenaje excesivo, sin horizonte de diagnóstico, colores claros y pobres en los contenidos de materia orgánica. Morfológicamente presentan perfiles homogéneos de naturaleza areno-micácea sin estructuración hasta profundidades que sobrepasan los 150 cm y de pH ligeramente alcalino. Su potencial agronómico es variable ya que depende de su relieve y tamaño de sus partículas arenosas.

Feozem (H): Tiene una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes, se encuentran desde zonas semiáridas hasta templadas o tropicales. En condiciones naturales tienen casi cualquier tipo de vegetación, se encuentran en terrenos desde planos hasta montañosos y la susceptibilidad a la erosión depende del tipo de terreno donde se encuentre.

Litosol (I): Son suelos de distribución muy amplia, se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, son suelos sin desarrollo, con profundidad menor a 10 cm con características muy variables, según el material que les dio origen, la susceptibilidad a la erosión puede ser de moderada a alta.

Luvisol (L): El luvisol tiene acumulación de arcilla en el subsuelo, son de zonas templadas o tropicales lluviosas, su vegetación natural es de selva a bosque, son rojos o claros, moderadamente ácidos, con susceptibilidad alta a la erosión.

Comparativamente con otras especies, el maguey encuentra condiciones favorables para su desarrollo en una mayor superficie de la que actualmente ocupa; esto obedece a que se desarrolla mucho mejor que otros cultivos agrícolas, en suelos delgados, con pendientes mayores del 15% y de baja precipitación; características predominantes en los Valles Centrales y en la Sierra Sur.

2.3.2. Pérdida de la cubierta vegetal por cambios en el uso del suelo.

Se estima que en los últimos 30 años, en el estado de Oaxaca se han deteriorado por la deforestación, aproximadamente 2 millones de hectáreas, con un promedio anual durante los últimos cinco años, de 20 mil hectáreas (INIFAP, 2000).

El cultivo del agave mezcalero contribuye a hacer más grave el problema de la deforestación, por la destrucción de la vegetación nativa para establecer nuevas plantaciones y por la utilización de altas cantidades de leña en los procesos para la producción de mezcal.

El campesino ha comenzado a invadir tanto la selva baja caducifolia como el bosque de coníferas para sembrar agave, utilizando el sistema de roza-tumba-quema. El proceso de deforestación se observa en todo el Estado con el consiguiente arrastre y empobrecimiento del suelo; siendo más evidente en algunos distritos como Yautepec y Tlacolula (Palma, 1989).

La mayoría de los productores de mezcal en Oaxaca, utilizan leña en sus hornos rústicos para la cocción de las piñas y en el destilado de la bebida (Sánchez, 1989). En cada "horneada" (4-6 toneladas de piña), se consumen de 10 a 12 m³ de leña. En las zonas donde se concentran los palenques (Matatlán y

Tlacolula), la leña tiene un costo de \$ 3,000 por cada 12 m³ este costo se debe a que en los terrenos aledaños ya no existe vegetación para cortar leña y ésta tiene que adquirirse de áreas más alejadas y transportarla en vehículos de motor.

2.3.3. Pérdida del suelo y su fertilidad.

El cambio en el uso del suelo provoca la desertificación de los terrenos. Se ha estimado que el 13% de la desertificación en México es originada por factores climáticos, pero el 87% restante se adjudica al manejo equivocado que el hombre ha hecho de los recursos naturales (CONABIO, 1998).

Entre el 60 y 85% del territorio Oaxaqueño presenta algún grado de erosión, más de dos millones de hectáreas están fuertemente degradadas; en terrenos de ladera, pueden llegar a perderse entre 50 y 100 toneladas de tierra fértil por hectárea por año (INIFAP, 2000).

Palma (1989) considera que el problema de la erosión se incrementa por el aprovechamiento de agave en terrenos accidentados con pendientes superiores a los 15° e incluso que rebasan los 45°. La forma de plantación, por lo general, no toma en cuenta las curvas de nivel, ni la pendiente del terreno. El agave mismo actúa como un cultivo de escarda y la práctica cultural de deshierbe impide la aportación de materia orgánica al suelo.

De esta manera, las plantaciones de agave mezcalero que se desarrollan en lomerío y montaña se caracterizan por disponer de suelos de baja fertilidad, mínimo espesor, alta pendiente y pedregosidad; lo que origina problemas de empobrecimiento y erosión del suelo. A manera de ejemplo sobre la baja fertilidad, se cita la información disponible (INIA 1972-1982) de doce sitios agrícolas diferentes del distrito de Tlacolula, en donde los análisis de suelos indicaron, en promedio, las siguientes características generales: pH (7.68), M.O. (1.65%), N (0.095%), P₂O₅ (19.4 ppm) y K₂O (542.5 ppm).

En la parte de la planicie, la plantación predominante es maguey con cultivos básicos intercalados (maíz y frijol principalmente) sobre todo durante los tres primeros años del maguey. Por la pobreza de los suelos, se establece una fuerte competencia entre los cultivos por la disponibilidad de nutrimentos, agua y luz.

2.3.4. La práctica de la fertilización en la región del mezcal.

Generalmente se piensa que por la rusticidad de la planta del agave mezcalero, este se puede producir en cualquier terreno sin mayores problemas, por lo que no se requiere la fertilización de los suelos.

Del número total de productores entrevistados en el Primer Censo de Mezcal en el Estado de Oaxaca (ICAPET, 1999); un 13.8 % indicó aplicar abono natural a sus plantaciones, un 4.3% fertilización química y la mayoría de los productores (81.9%) no fertiliza sus plantaciones de agave (Cuadro 2).

Entre las razones principales de porqué esta práctica de la fertilización no está generalizada entre los productores se mencionan principalmente: desconocimiento sobre fuentes, dosis de fertilizantes y forma de aplicación. También, altos costos del fertilizante y baja capacidad de adquisición de insumos.

2.4. Productividad del suelo y fertilización.

El suelo es un medio heterogéneo y complejo donde interactúan factores abióticos (minerales, rocas, clima) y factores bióticos que van desde microorganismos (bacterias, actinomicetes, hongos y nematodos), a macroorganismos invertebrados (lombrices de tierra, larvas, etc.). De donde se deriva que los distintos organismos tienen un papel preponderante en los ciclos biogeoquímicos y en la constitución de la estructura del suelo. El conocimiento del funcionamiento del suelo en su totalidad es fundamental para usar racionalmente y de manera óptima este recurso y mantener su fertilidad (Barois, 1995).

Cuadro 2. Productores de agave mezcalero que fertilizan sus plantaciones

DISTRITO		Abono Natural		Abono Químico		No Aplica Fertilizantes	
		Productores	%	Productores	%	Productores	%
24	Tlacolula	432	6.9	140	2.2	1,307	20.9
28	Yautepec	87	1.4	39	0.6	1,228	19.6
13	Miahuatlán	29	0.5	4	0.1	951	15.2
05	Ejutla	123	2.0	40	0.6	927	14.8
16	Ocotlán	175	2.8	36	0.6	316	5.1
30	Zimatlán	0	0.0	0	0.0	66	1.1
20	Sola de Vega	17	0.3	11	0.2	321	5.1
	Total	863	13.8	270	4.3	5,116	81.9

Fuente: ICAPET, 1999.

La capacidad del suelo para desarrollar un buen cultivo, es un indicador de su productividad y de su fertilidad. Esta capacidad varía por las diferencias en la formación y tipo de suelo. En general se debe suministrar a las raíces cantidades suficientes de nutrimentos, agua, aire, una estructura y profundidad adecuada, para que los cultivos se desarrollen bien (Manuales para la Educación Agropecuaria, 1984).

La fertilidad del suelo se ve menguada por la pérdida de la materia orgánica, por procesos de oxidación, por la alta tasa de extracción de nutrientes por las plantas cultivadas y por la lixiviación o lavado de bases por altas precipitaciones. Esta pérdida de la fertilidad puede ser retenida por la adición de materia orgánica o bien por fertilizantes de síntesis química (Ruiz, 1996).

Es necesario devolver al suelo los elementos fertilizantes extraídos por las cosechas, con el fin de evitar su agotamiento; la insuficiencia de un solo elemento nutritivo resulta suficiente motivo para limitar el normal crecimiento de la planta. Las cantidades de nutrimentos disponibles para la planta, son de gran importancia para su desarrollo y producción de cosecha; estas cantidades pueden determinarse por medio de análisis del suelo y de los tejidos de las plantas; estos análisis son la base para las recomendaciones acerca de la aplicación de fertilizantes, siendo necesario seleccionar los tipos de fertilizantes, las cantidades adecuadas y adoptar los procedimientos de aplicación recomendados para evitar pérdidas (Teuscher y Adler, 1985).

Una manera de introducir nutrimentos y materia orgánica al suelo es la incorporación de abonos verdes al suelo, la rotación de cultivos complementarios y fijadores de nitrógeno (Claverán, 1996).

La recuperación de la fertilidad del suelo es consecuencia de un mejoramiento físico, químico y biológico de las condiciones del suelo (Ruiz, 1996).

De acuerdo con Guzmán y Monjaras (1982), Ruiz (1996) y Romero (1997); físicamente la M.O. interviene en la floculación y dispersión del sistema coloidal del suelo; siendo sus principales funciones físicas: incrementar la retención de agua; favorecer la agregación en suelos arenosos y la dispersión en suelos arcillosos, manteniendo condiciones favorables de aireación y permeabilidad o

infiltración. Las coberturas orgánicas reducen las pérdidas de agua por evaporación, disminuyen la temperatura del suelo en verano y la conservan en invierno, además evitan la formación de costras superficiales.

Los elementos químicos más importantes en la M.O. son: carbono, nitrógeno, fósforo, hierro, calcio, potasio y magnesio; las principales funciones químicas del abono orgánico son: actúa como un almacén de elementos químicos, incluyéndose hormonas y antibióticos. En la descomposición de la materia orgánica se producen ácidos orgánicos y CO_2 , que actúan como agentes disolventes transformando muchos minerales en formas más asimilables para las plantas. Aumenta el poder amortiguador de los suelos, retardando los procesos por los cuales se producen los cambios de reacción (pH). Posee una habilidad potente para absorber o retener los componentes de los fertilizantes químicos y nutrimentos de los minerales del suelo, haciendo disminuir el flujo de pérdidas por percolación, originándose un aumento en la capacidad de intercambio catiónico. La materia orgánica fresca tiene una función especial en los suelos ácidos, que es la de liberar más rápidamente el fósforo aprovechable. Los ácidos orgánicos liberados de la descomposición de la materia orgánica ayudan a reducir la alcalinidad de los suelos. Hace un aporte muy reducido de nitratos y consecuentemente menos contaminación a los acuíferos.

Biológicamente, la aplicación de M.O. en el suelo constituye un almacén de alimentos para las plantas y para los microorganismos del suelo. La influencia del abono orgánico en las características biológicas del suelo, es la siguiente: aumenta el contenido y cantidad de microorganismos del suelo, sirviendo como fuente energética para la mayoría de ellos. El número de microorganismos en el suelo controla la cantidad de alimentos disponibles, por lo tanto un suelo bajo en alimentos disponibles tiene pocos microorganismos y un suelo fértil es rico en éstos.

Martínez y Tico (1974), indican que la M.O. se transforma mediante sucesivas etapas, hasta el estado final de la mineralización, única forma asimilable por las plantas; distinguiéndose dos etapas principales: a). Humificación: al incorporar los residuos orgánicos, rápidamente entran en descomposición por efecto de

levaduras, hongos, bacterias y gusanos, transformándolos en productos inorgánicos más simples, dando lugar a humus fresco, pardo que da origen al humus estable negro. b). Mineralización o nitrificación: proceso muy lento de nuevos microorganismos a razón de 1.5-2 % por año, liberando nitrógeno nítrico que será aprovechable para las plantas.

2.4.1. Aplicación de fertilizantes minerales ó químicos.

Cualquier sustancia que se añade al suelo para aportar uno o más nutrientes de las plantas con el fin de aumentar su crecimiento, es un fertilizante. Por lo general los fertilizantes inorgánicos son compuestos químicos simples, hechos en fabricas o extraídos de las minas, que proveen nutrientes de las plantas y no son residuos de materia viviente animal o vegetal (Cooke, 1983). Por ejemplo, el amoniaco es la fuente principal en la fabricación de fertilizantes nitrogenados; la roca fosfatada, como fuente de fósforo y las sales de potasa, como fuente de potasio, extraídas de las minas. Las sustancias químicas que se encuentran en los fertilizantes, generalmente se denominan nutrimentos, existen 16 elementos reconocidos; orgánicos (C,H,O) y minerales: N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, B, Fe, Mn, Cu, Mo, Cl (National Plant Food Institute, 1986). En la mayoría de los países, el término “fertilizantes inorgánicos” se aplica a materiales que proporcionan nitrógeno, fósforo y potasio. Algunos de estos elementos llamados macronutrientes o elementos mayores, son necesarios en cantidades que varían de unos cuantos kilogramos a cientos de kilogramos por hectárea y son proporcionados por los fertilizantes. Los nutrientes menores o trazas, son tan esenciales como los anteriores, aunque las plantas únicamente tomen cantidades pequeñas y en la mayoría de los suelos se encuentran en cantidades suficientes. El uso económico de los fertilizantes consiste, simplemente, en elegir el fertilizante conveniente y aplicarlo correcta y oportunamente. En la evaluación de un fertilizante, sólo se consideran útiles el nitrógeno, expresado como N, fósforo expresado como P_2O_5 (pentóxido de fósforo) y potasio, expresado como K_2O (óxido de potasio) y sus contenidos se indican como porcentajes (Cooke, 1987).

La mayoría de los cultivos y en la mayor parte de los suelos, responden provechosamente a la aplicación de fertilizantes, no solo aumentan los rendimientos, sino que, si se usan adecuadamente, mejoran el color de las plantas, flores y frutos. Aumentando el contenido de proteínas, minerales y vitaminas en los alimentos (National Plant Food Institute, 1986).

La cantidad de fertilizantes que un agricultor puede emplear se determina por el nivel de fertilidad del suelo, el clima, el tipo de cultivo y los aspectos económicos (Thompson, 1974).

El uso económico de los fertilizantes consiste, simplemente, en elegir el fertilizante conveniente y aplicarlo correcta y oportunamente (Cooke, 1987).

2.4.2. Aplicación de abonos orgánicos

Estiércoles animales. Los abonos orgánicos son materiales derivados de la descomposición biológica de residuos de cultivos, deyecciones y estiércoles animales, de arboles y arbustos, pastos, basuras y desechos industriales. Su aplicación en forma y dosis adecuada mejoran las propiedades y características físicas, químicas y biológicas del suelo.

El abono animal es más valioso por su materia orgánica que por sus elementos fertilizantes; consiste principalmente de estiércol de ganado vacuno, mezclado con paja, puede ser un valioso complemento del fertilizante comercial. El manejo adecuado del abono natural comprende: la adición de superfosfato; el empleo de paja u otro material de asiento; aplicación expedita a la tierra. Una tonelada de estiércol fresco, equivale aproximadamente a 45 kg de fertilizante 10-5-10. El superfosfato ayuda a absorber el gas amoníaco, que es rico en nitrógeno y que, de otro modo, escaparía durante el proceso de fermentación (National Plant Food Institute, 1986).

Composta. Según Ferrera-Cerrato y Santamaría (1996) y Farías-Larios *et al.*, (1998), el composteo es la descomposición bioquímica (aeróbica o anaeróbica) de materiales orgánicos por microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos) mesofílicos y termofílicos en producto estabilizado con elevada M.O. y que se utiliza para mejorar la fertilidad de los suelos. El producto final es un material

análogo al humus de composición variable, este proceso es favorecido por un aporte apropiado de aire, humedad y temperatura.

Ruiz (1996) dice que la ventaja principal del producto final de la composta (humus) sobre los fertilizantes químicos y el estiércol es que tiene la capacidad de retener nutrientes evitando que se pierdan a través del perfil del suelo. Además, el proceso de descomposición que se lleva a cabo en la composta eleva su temperatura a 70°C con lo que se destruyen patógenos y semillas de maleza. Otras ventajas son las mejoras a largo plazo de las condiciones de estructura, porosidad y permeabilidad del suelo.

Esta práctica del composteo se valora como una de las tendencias principales de la nueva agricultura, por su carácter compatible con el ambiente y sus significativos ahorros energéticos. Los resultados de su aplicación práctica en campo, son aún limitados.

Vermicomposta ó Lombriabono. En la actualidad, de las lombrices de tierra se aprovechan sus hábitos alimenticios (saprófagos), anatómicos y fisiológicos. El uso promisorio de estos organismos es el procesamiento de residuos domésticos, agropecuarios y de basuras de origen orgánico con el propósito de generar abono orgánico. La lombriz que comúnmente se utiliza es la lombriz roja de California *Eisenia foetida* (Ferrera-Cerrato y Santamaría, 1996). Las lombrices aceleran la transformación biológica de los residuos orgánicos, a este proceso se le denomina vermicomposteo, en el cual se han encontrado incrementos de algunos nutrimentos (Santamaría-Romero y Ferrera-Cerrato, 1996). El valor nutricional del humus resultante de tal descomposición va a depender del material que se puso a vermicompostear (García- Pérez, 2000). Este material una vez estabilizado, es deshidratado y tamizado, constituyendo un abono orgánico de uso potencial en la agricultura con las siguientes características generales: capacidad de intercambio catiónico superior a 30 meq/100g. Próximo a la neutralidad en pH. Capacidad de retención de humedad entre 50 y 60%. Contenido de material orgánico superior al 30%. Relación carbono/nitrógeno < 10 (Noriega y Vidal, 1997).

Biofertilizantes. Como biofertilizante se entiende el uso de los recursos microbiológicos del suelo (bacterias, actinomicetos, hongos, algas, levaduras) en

cultivos agrícolas, postulándose como una alternativa para complementar o reducir el uso de los fertilizantes químicos, pero con el mantenimiento de la estructura física y química del suelo y su balance ecológico. Al incrementar sus poblaciones por medio de la inoculación artificial, son capaces de poner a disposición de la planta una parte importante de sustancias nutritivas que necesitan para su desarrollo. Las principales actividades benéficas realizadas por estos microorganismos incluyen la solubilización de sales y nutrimentos, fijación de N₂, producción de fitohormonas, interacción sinérgica con otros microorganismos benéficos y la inhibición de fitopatógenos.

Micorriza. La palabra micorriza proviene del griego mykes= hongo y rhiza= raíz y se utiliza para designar la relación mutualista que se establece entre las hifas de un hongo y los tejidos radicales de un gran número de plantas vasculares (Gómez-Cruz, 1995).

Más del 90% de las comunidades vegetales que se encuentran habitando el planeta, presentan la característica de formar la simbiosis micorrízica (Holguín *et al.*, 1996). Se conocen dos tipos principales de micorriza que tienen especial importancia en los procesos agrícolas y forestales: la ectomicorriza y la micorriza arbuscular. En el caso de la micorriza arbuscular, los hongos responsables de su génesis pertenecen a la clase de los *Zygomycetes* y al orden de los *Glomales*, distribuidos en seis géneros (*Glomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora* y *Scutellispora*) con un número no mayor de 250 especies en total. Estos hongos, al establecerse en la zona cortical del sistema radical de las plantas, tienen la característica de formar estructuras internas, las cuales de acuerdo con su función pueden favorecer el intercambio nutrimental y el almacenamiento de reservas (Guzman-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1990; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999).

En la simbiosis micorrízica, la planta (fitobionte) recibe del hongo una transferencia nutrimental incrementada de N, P, K y Ca, secreción de fitohormonas, protección contra patógenos e incremento en la longevidad de sus raíces. Por su parte, la planta abastece los requerimientos de fuentes carbonadas energéticas para el hongo (micobionte), principalmente compuestos carbonados,

fitohormonas, vitaminas y facilidad para la germinación de propágulos. De este modo, se establece un beneficio mutualista entre ambos componentes de la simbiosis (Gómez-Cruz, 1995; Pérez-Moreno y Ferrera-Cerrato, 1995).

En los últimos años, el estudio de la endomicorriza vesículo-arbuscular (V-A) ha cobrado creciente interés. Esta forma de simbiosis, permite a muchas plantas que crecen en suelos infértiles absorber fósforo y otros nutrimentos poco móviles en forma más eficiente que en la condición no micorrizada, pudiendo crecer mejor y producir más biomasa. Del total del fósforo aplicado a un cultivo en un ciclo, es asimilado menos del 50%, el resto se convierte en formas temporal o permanentemente no aprovechable por las plantas. Con la micorrización se puede incrementar la eficiencia de absorción de ese elemento, lo cual permite ahorrar fertilizantes fosfatados (Guzmán-Plazola y Ferrera-Cerrato, 1990).

El fósforo es uno de los nutrimentos de mayor importancia para el crecimiento de las plantas. En los compuestos ácidos que presentan problemas de fijación del fósforo, las plantas desarrollan estrategias de adaptación para corregir tal deficiencia; tal es el caso de los microorganismos rizosféricos solubilizadores de formas de fósforo no disponibles para las plantas (Zavala *et al.*, 1998)

Azospirillum. La inoculación de bacterias fijadoras de nitrógeno asociativas origina aumentos de la producción agrícola. Las bacterias favorecen el desarrollo de las plantas al aportarles nitrógeno combinado, modificar el desarrollo y función de las raíces, mejorar la absorción de nutrimentos y agua, así como facilitar el establecimiento de otros microorganismos mutualistas. El uso de estas bacterias ofrece una alternativa muy alentadora en la tecnología agrícola y en la conservación del medio ambiente. No obstante, es necesario considerar que el manejo de toda simbiosis es sumamente complejo. Su potencialidad es regulada por el tipo de bacteria y huésped y su expresión es controlada por los factores ambientales. Por tal motivo, los resultados de esta práctica agronómica son muy variables y la explotación comercial de esta tecnología aún es restringida (Ramírez-Gama y Luna-Millan, 1995).

Los microorganismos diazotróficos de vida libre, fijan nitrógeno atmosférico en menor proporción que los simbióticos, son bacterias que se agrupan en aerobias,

aerobias facultativas y anaerobias; los géneros más conocidos son: *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Derxia*, *Pseudomonas* y *Clostridium*. En promedio pueden fijar de 3 a 100 kg N ha⁻¹ año⁻¹. La cantidad de nitrógeno fijado depende de dos factores: la demanda de energía requerida para fijar nitrógeno y una baja presión de oxígeno necesaria para que la nitrogenasa pueda reducir el nitrógeno atmosférico (Rodríguez-Mendoza, 1995).

Azospirillum es la bacteria asociativa más estudiada, afecta positivamente una gran diversidad de plantas (caña de azúcar, arroz, maíz, trigo, sorgo, tabaco, algunos frutales, tubérculos y hortalizas). Las propiedades fisiológicas y bioquímicas de *Azospirillum* le permiten ser un competidor eficaz en la rizosfera, pese a la abrumadora micoflora nativa con la capacidad de colonizar raíces vegetales. Hay todavía muchas preguntas que responder respecto a la interacción *Azospirillum*-planta y sus respuestas requieren de un intenso esfuerzo de investigación (Bashan *et al.*, 1996).

2.5. Métodos para determinar recomendaciones de fertilización

Para obtener rendimientos cercanos a los máximos posibles, se requiere que las necesidades nutrimentales básicas de los cultivos sean satisfechas, estos rendimientos deben ser económicamente viables. Las necesidades indicadas pueden verse desde dos ángulos: (1) la concentración mínima ú óptima, que un nutriente debe tener en toda la parte aérea, en un órgano seleccionado con anterioridad como indicador del estado nutricional y (2) la cantidad de nutriente (en kg/ha) que la planta debe contener en cada etapa de su vida para aspirar a alcanzar esos rendimientos. La primera es un valor constante para cada edad de la planta, proporcional a la cantidad de materia seca (carbono principalmente) que ésta contenga en un momento determinado, y por lo tanto dependiente de las etapas de desarrollo del cultivo, pero independientemente del rendimiento; esto es, para aspirar a obtener el rendimiento máximo que el medio ambiente permita, es necesario que esa concentración sea satisfecha; de no ser así, los rendimientos posibles que pudieran alcanzarse no serán obtenidos. El segundo

criterio (la cantidad nutrimental que la planta requiere en cada etapa de su desarrollo), es dependiente de los rendimientos máximos posibles de obtener en cada condición específica; cuando ésta permite la obtención de mayores rendimientos, las cantidades de nutrientes que requerirá el cultivo serán mayores (Etchevers, 1998). El plan de manejo nutrimental de un cultivo depende de la demanda nutrimental de éste, del suministro que pueda hacer el suelo y de la eficiencia de uso de fertilizante; todo lo cual se expresa en un modelo simplificado que describe Rodríguez (1993) citado por Etchevers (1999), en donde dice: $Dosis\ de\ fertilizante = \frac{demanda\ del\ cultivo - suministro\ del\ suelo}{eficiencia\ de\ recuperación\ del\ fertilizante}$. Si la demanda del cultivo es menor o igual al suministro, la dosis de fertilizante a aplicar sería cero; si la demanda nutrimental es mayor que el suministro por el suelo, será necesario fertilizar. La dosis de fertilizante que se aplicará será proporcional a la magnitud del déficit encontrado.

Para determinar las cantidades necesarias de fertilizante que requiere un cultivo, se pueden seguir diferentes métodos: análisis del suelo; empleo de equipos de análisis rápido, y detección de señales de carencia en un cultivo (Thompson, 1974; Foth y Turk, 1975).

Rojo (1980), describe algunos enfoques usados en México para la generación de tecnologías de producción agrícola, en las cuales se incluye la práctica de la fertilización:

1. Agrupación indiscriminada. Permite definir recomendaciones en base a la respuesta promedio de los cultivos en un área dada. Maneja toda la información sin hacer ninguna estratificación por condiciones ecológicas. Solamente se promedian los valores obtenidos en cada uno de los sitios experimentales para un área determinada.

2. Delimitación de agrosistemas con criterio agronómico. Estratifica la variación de los factores de la producción para un área determinada, con la finalidad de generar recomendaciones específicas para condición ("sistemas de producción").

3. Delimitación de agrosistemas por medio del método CP. Relaciona la variación de los parámetros agronómicos con la variación de aquellos factores

tanto climáticos, de suelo y de manejo, que son medidos a nivel de sitio experimental.

4. Delimitación de agrosistemas con base en el levantamiento fisiográfico.

5. Recomendaciones basadas en funciones generalizadas de producción. Se basa en que el rendimiento de un cultivo para un sitio determinado, es una función de las características propias del cultivo y de los factores de suelo, clima y manejo.

Para (Galvis *et al.*, 1995), la recomendación de fertilizantes con base en el uso de análisis químicos de suelos ha demostrado ser altamente eficiente en algunas partes del mundo, sin embargo, en México todavía no se cuenta con la tecnología que permita dicha eficiencia.

En la actualidad, dos aspectos que resultan claves en la generación de recomendaciones de fertilización de cultivos son el tiempo y el costo para la generación de las recomendaciones y la precisión de ellas. Desde el punto de vista del costo y tiempo para generar las recomendaciones, el enfoque de balance nutrimental puede presentar una alternativa viable ante la escasez de recursos que se dedican a la investigación agrícola, aunque requiere ser validado en alguno de sus componentes (Volke, 1995; Volke *et al.*, 1997).

La dosis de fertilización que el agricultor debe agregar a un cultivo para obtener la máxima ganancia se le conoce como dosis óptima económica (DOE). Una de las metodologías para estimar DOE consiste en generar, con base en datos experimentales, un modelo de regresión para representar la respuesta del cultivo a las aplicaciones de fertilizantes (Rebolledo, 1998).

2.6. Mediciones para evaluar respuestas a fertilización en agaves.

El proceso de la fotosíntesis da como resultado la conversión de energía luminosa en energía química. Este aporte de energía es usado por los productores primarios para efectuar trabajo o es almacenado. Esta energía química almacenada es la biomasa y se define como el peso del material vegetal viviente, contenido arriba y debajo de una unidad de superficie por unidad de tiempo. En términos generales, para realizar esta estimación, se requiere de destruir plantas

para clasificar, secar, incinerar y obtener el valor en materia seca. Es posible estimar biomasa mediante medición no destructiva de algunas características de la planta que se relacionen con el peso seco de los vástagos y las raíces (como altura y longitud) a intervalos frecuentes en plantas marcadas con anterioridad. Las relaciones entre estas variables y el peso se establecen de las determinaciones destructivas en otras plantas (Coombs *et al.*, 1988).

Las variables contenido de agua, radiación fotosintéticamente activa (PAR) y temperatura, pueden ser integradas y obtenerse un “Índice Ambiental de Productividad” (EPI) que mes por mes indique la cantidad máxima fijada de CO₂. Como la fijación del CO₂ se obtiene sobre área foliar y el área foliar por planta es conocida, el EPI puede ser usado para calcular la cantidad de CO₂ fijada por la planta. Asumiendo que el CO₂ es incorporado dentro de los carbohidratos, corrigiendo pérdidas por respiración de raíz y tallo, y expresando el dato sobre la base del área explorada por las raíces, la productividad puede ser expresada por unidad de superficie. La productividad anual de *A. deserti* fue predicha en 0.60 kgm⁻²y⁻¹ (Nobel, 1985 a; Nobel and Hartsock, 1986). Del mismo modo, respuestas fisiológicas fueron estudiadas para predecir la productividad en materia seca de *Agave fourcroydes*, en la Península de Yucatán México. La productividad en plantas de 6 años de edad, fue de 1.6 kg de peso seco m⁻² año⁻¹ (Nobel, 1985 b). En Tequila Jalisco México, en plantas de agave tequilero de 1, 3 y 6 años, la productividad de peso seco fue de 2.49, 2.24 y 2.11 kg m⁻² y⁻¹, respectivamente (Nobel and Valenzuela, 1987).

La evaluación de la producción de piña en agaves, se dificulta porque se requieren de 7-10 años para que los agaves alcancen sus madurez fisiológica y poder cosecharlos; hacer estimaciones antes, implica la destrucción de plantas. Una forma de obtener información del crecimiento de los agaves, sin llegar a su destrucción, es mediante mediciones que se relacionen con el rendimiento.

Mediante la técnica de análisis dimensional, se generó una tabla para estimar la producción de biomasa de cogollo de lechuguilla (Berlanga, 1998). Se requiere contar con los datos individuales de altura y diámetro basal del cogollo, obtenidos

de las mediciones directas y de un muestreo estadístico previamente definido. Este método es aplicable en otras especies vegetales (Meza, 1998).

Valenzuela y González, (1995), estimaron el efecto de diferentes tratamientos de fertilización en agave tequilero midiendo: longitud de planta, longitud de cogollo, número total de hojas y número de hojas nuevas. Estos mismos autores, citan que Martínez, (1985), reportó una alta correlación entre el producto de la altura y el diámetro de la roseta con los pesos fresco y seco de la planta para evaluar biomasa en *A. salmiana* spp. *crassispina* en el altiplano potsino.

De un trabajo de investigación con agave mezcalero realizado en Matatlán Tlacolula, Oaxaca, para estimar la tasa de fijación de CO₂ de *Agave angustifolia* en condiciones de campo; (José y García, 1995), encontraron que las tasas máximas de fijación de CO₂ fueron de 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ en plantas de cuatro años y 29 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para plantas de ocho años.

2.7. Investigaciones de fertilización en agaves

Por no disponer de bibliografía sobre la fertilización en agave mezcalero, a continuación se describen algunos trabajos desarrollados en agaves silvestres, henequén y agave tequilero.

Agaves silvestres. Correlaciones entre la acidez nocturna y elementos nutrimentales en el clorenquima en plantas adultas de *A. deserti*, *A. americana* L., *A. fourcroydes* Lem., *A. lechuguilla* Torr., *A. salmiana* sp. *crassispina* (Trelease) Gentry y *A. utahensis* Engelm reportadas por (Nobel and Berry 1985), permitieron conocer que, tal y como sucede en otras plantas, el elemento más limitativo en la actividad metabólica de los agaves es el N. La acumulación de acidez nocturna estuvo positivamente correlacionada con el nivel de N en el clorenquima ($r^2 = 0.7$) el cual también correlacionó con el N del suelo ($r^2 = 0.53$). La siguiente correlación más alta observada fue con Boro ($r^2 = 0.51$) coincidiendo con lo conocido de que *A. sisalana* requiere de cantidades relativamente altas de Boro. La tercera correlación más alta entre la acumulación de acidez nocturna y niveles de elementos en el clorenquima de las seis especies de agaves estudiadas

fue con Calcio ($r^2 = 0.46$), coincidiendo con lo reportado de que la fertilización con Ca incrementa la productividad de *A. sisilana*, especialmente en suelos ácidos. Los niveles de Potasio y Fósforo presentes en el clorenquima estuvieron débilmente correlacionados con la acumulación de acidez nocturna ($r^2 = < 0.12$). La débil correlación negativa con Sodio, se debió a efectos inhibitorios del Na, o también de que altos niveles de Na en los tejidos pueden estar asociados con algunas situaciones limitativas a que estuvieron expuestos los agaves.

Diferentes cantidades de N, P_2O_5 , K_2O y B fueron aplicadas a plantas de *Agave deserti* y *A. lechuguilla* en el Desierto de California. El número de hojas desenvueltas del cogollo estuvo fuertemente relacionado con el crecimiento; proporcionando una medición conveniente para monitorear el efecto de la aplicación de nutrimentos. La mayor influencia de la fertilización con N sobre el número de hojas desenvueltas para *A. deserti* podría estar explicada por un bajo contenido de N en el suelo. En *A. deserti* altas aplicaciones de N (arriba de 500 kg/ha) produjeron ligera inhibición comparado con la aplicación de 100 kg N/ha. Aplicaciones de P_2O_5 , K_2O y B en campo tuvieron poca influencia en número de hojas desenvueltas para *A. deserti*, pero lo incrementó significativamente para *A. lechuguilla*. Aplicaciones que estimularon el desenvolvimiento de hojas para *A. lechuguilla* como 100 kg N/ha o 500 kg P_2O_5 , condujeron a largos incrementos en la fijación neta de CO_2 . Aplicaciones de 500 kg K_2O ó 100 kg B resultaron en baja fijación de CO_2 (Nobel *et al.*, 1988).

Henequén. Plantas de cinco años de edad de *Agave fourcroydes* en Cuba, fueron fertilizadas anualmente de 1972-1976 con 100-300 kg N/ha, produciendo un total de 18.0 ton/ha de fibra en 9 años; mientras que las parcelas sin fertilización rindieron las 18.3 ton de fibra/ha pero en 15 años. Con la fertilización de N, los rendimientos máximos anuales de fibra se alcanzaron en plantas de 8 años de edad y sin fertilización en plantas de 11-15 años (Carrión, 1981).

En Cuba, plantas de *Agave fourcroydes* creciendo en un suelo rojo ferralítico fueron fertilizadas anualmente, hasta el tercer corte o cosecha, con nitrógeno (0, 50, 100 y 150 kg/ha, además de una fertilización anual base de 100kg de $P_2 O_5$ y 100 kg K_2O /ha). Nitrógeno en dosis 50 kg/ha incrementó el crecimiento de hojas y

el contenido promedio de fibra (de 25.49 g/hoja a 33.5 g/hoja) e incrementó los rendimientos totales de fibra en el tercer corte (de 1.92 ton/ha a 3.67 ton/ha). La dosis de 100 y 150 kg/ha de N resultaron en menor rendimiento y crecimiento de hojas que la dosis de 50 kg N/ha (Carrion and Vinet, 1986).

En la península de Yucatán; en 1976-1977 se estableció en un suelo pedregoso un semillero con vástagos de 19.5 a 20.5 cm de altura para observar su respuesta a la fertilización con N-P-K en dosis de 0-60-120 y 180 kg para N y P_2O_5 , así como 60 kg/ha para K_2O . Los parámetros evaluados fueron altura de cogollo y número de hojas desarrolladas pesando previamente los vástagos. Los resultados indicaron que al año de establecido el semillero no hubo significancia estadística entre tratamientos, sucediendo lo mismo en trabajos posteriores realizados de 1979 a 1981. Tampoco se observó respuesta a la combinación de abonos con fertilizantes, aunque existió un mejor desarrollo de los vástagos al trasplantarlos en abonos orgánicos, siendo el bagazo nuevo el mejor sustrato. De lo anterior se concluyó que no es necesario la fertilización en semilleros, ya que no hay respuesta a esta práctica. No existen diferencias significativas entre fertilizar o no por lo tanto la recomendación es la de llevar a cabo los semilleros en bagazo de henequén donde desarrolla mejor el vástago (Ramírez y Díaz, 1993; Muñoz y Dzib, 1983).

Ramírez (1993) cita que de un ensayo exploratorio de fertilización orgánica e inorgánica para el cultivo del maíz establecido en Yucatán por Soria en 1979, el mejor tratamiento de fertilización inorgánica fue la dosis 30-40-00 con la cual se obtuvo casi el doble de rendimiento que el testigo sin fertilizar. La utilización de 15 ton/ha de gallinaza duplicó los rendimientos del tratamiento 30-40-00. Al parecer, estos resultados se traspolaron a las condiciones de la asociación maíz-frijol intercalada al henequén en lo que respecta al fertilizante inorgánico; con densidades de 18,100 pl/ha para maíz y de 54,270 para el frijol ib.

Para producir maíz-frijol ib intercalados a henequén en la península de Yucatán en suelos con un período de barbecho ó descanso de 4 -10 años, se sugiere aplicar la fórmula 00-40-00 durante los dos primeros años. En suelos con períodos de descanso mayores de 10 años, no se requiere fertilizar el primer año.

En suelos con dos ó tres años consecutivos de maíz es conveniente aplicar la fórmula 30-80-00 (Hernández y Ramírez, 1988; INIFAP, 1998).

Agave tequilero. En agave tequilero se estudiaron los siguientes tratamientos en kg/ha: nitrógeno (40, 80, 120 y 160), P_2O_5 (0, 40, 80 y 120) y K_2O (0, 30, 60 y 90). Las variables consideradas fueron la longitud de planta, la longitud de cogollo o meristemo apical y las hojas que produce una planta. Las plantas utilizadas en el experimento fueron de un año de cultivo y se midieron por dos años consecutivos, 1987 y 1988. Los mayores incrementos en el peso de cabeza (“piña”) se presentaron a los 6 meses después de la fertilización. El tratamiento 120-80-60 a largo plazo (18 meses), duplicó el rendimiento del testigo sin fertilizar. Los pesos mayores de cabeza por planta, a los 2.5 años de edad del cultivo, correspondieron a los tratamientos 120-80-60 con 5.9 kg y el 80-00-30 con 5.1 kg, mientras que el testigo sin fertilizar alcanzó casi la mitad de éstos: 2.4 kg (Valenzuela y González, 1995).

2.8. Fertilización en plantaciones comerciales de agaves.

Agave pulquero. Después de la plantación del maguey pulquero en el Valle de México, se recomienda agregar estiércol (de ganado vacuno) o fertilizantes químicos, los cuales van a proporcionar los nutrimentos que estimulan el crecimiento de las plantas, además favorecerá el número de hijuelos por planta. Esta práctica se efectúa después que ha formado raíces. Las plantas en sus primeras etapas de desarrollo necesitan fuentes de nitrógeno, las cuales son suministradas como sulfato de amonio $SO_4(NH_4)_2$ a razón de 25 g por planta, o si se procede a incorporar estiércol; se recomienda aplicar 10 kg de estiércol semiseco por cepa. Al segundo año de establecidas se recomienda dar otra fertilización en una dosis tres veces mayor que la primera (José, 1993).

Agave tequilero. Hasta hace poco tiempo era muy común oír con respecto al maguey tequilero, que como es una planta muy rústica y resistente, debería sembrarse en terrenos pobres, y la realidad era que escasos agricultores fertilizaban su maguey en campo (Bustamante, 1983).

En la actualidad, la fertilización es una práctica casi generalizada entre los productores de agave de Jalisco, la cual se ha fundado principalmente en evaluaciones visuales debido, a la dificultad de conocer los efectos en el corto plazo, ya que el cultivo tiene un ciclo que varía entre 6 y 12 años. La fertilización se complementa con la incorporación de estiércoles de bovino, cerdo y gallina. La aplicación se realiza en forma manual y 80% de los productores lo depositan por encima de la planta. Actualmente, se reconoce un efecto positivo de los fertilizantes químicos, principalmente de nitrógeno; sin embargo, se supone que estos no se están aplicando en los niveles adecuados (Valenzuela y González, 1995).

Sobre la fertilización en viveros, Villalvazo (1986), indica que se usan los siguientes productos y cantidades: a) Fórmula 17-17-17, 8 gramos/planta. b) Sulfato de amonio, 10 gramos/planta y superfosfato de calcio simple, 8 gramos/planta, alternando las aplicaciones cada mes.

Se ha observado también que cuando lo hacen en campo, aplican 100 gramos de urea/planta durante los 4 primeros años, al inicio del temporal; en ocasiones se aplican desde 30 g en plantas de un año hasta 129 g en plantas adultas. También se ha aplicado estiércol alrededor de las plantas, se sabe de 2 épocas de aplicación, la primera a los 3 años y la segunda a los 6 años, en ambas se utilizan 300 gramos de estiércol/planta aproximadamente (Villalvazo, 1986; Valenzuela, 1989).

Las industrias tequileras recomiendan fertilizar al inicio de temporal de lluvias; las fertilizaciones se hacen de acuerdo a las edades de las plantaciones. Hay empresas que recomiendan aplicar $30\text{N}-20\text{P}_2\text{O}_5-20\text{K}_2\text{O}/\text{ha}$ para plantas de 1-3 años y $60\text{N}-30\text{P}_2\text{O}_5-30\text{K}_2\text{O}$ en plantas de 3-6 años (Mendoza, 1999). También, al momento de la plantación se sugiere aplicar un mejorador del suelo, compuesto por hongos micorrízicos (*Glomus intrradix*) que germinan y penetran en la raíz de la planta enviando hifas adicionales que actúan como un sistema de raíz secundario protegiendo a la planta de los patógenos y ayudando a absorber mejor el agua y los nutrientes del suelo, haciendo a la planta más resistente al ataque de algunos patógenos (Consejo Regulador del Tequila, 1999).

Los suelos rojos, cafés o pardos con textura media, es decir, que tienen una mezcla de partículas de suelo que le permiten una buena aireación y drenaje, serán los adecuados para el maguey tequilero (Valenzuela, 2000).

Compañías vendedoras de fertilizantes (SQM, México. Nitratos chilenos), recomiendan para el establecimiento aplicar 30-50 g/planta de la fórmula Ultramix (11-33-11+ 3Mg+2S). En plantaciones ya establecidas 1° y 2do año: 50-80 g/pl/año de (18-9-18+2Mg+3S). Tercer año: 80-120 g/pl/año de (16-8-20+ 3Mg+3S), Cuarto y quinto año: 120-160 g/pl de (16-8-20+ 3Mg+3S). Del 6° año y en adelante: 150-200 g/pl de (16-8-20 + 3Mg+3S).

Agave mezcalero. En los agaves cultivados en los Valles Centrales, generalmente no se llevan a cabo programas de fertilización (Urrutia, 1986).

En las plantaciones de agave mezcalero en Oaxaca, la plantación de los hijuelos se realiza en los meses mayo y junio de modo que las plantas aprovechen las lluvias para enraizar y empezar su desarrollo. Se utiliza una densidad de población de 2350 plantas/ha. La cual se logra con una distancia entre plantas de 1.5 m y 2.8 m entre hileras. Con la finalidad de obtener en buen crecimiento de los agaves se efectúa la fertilización orgánica (estiércol de ganado) en los primeros 3 o 4 años a razón de 2 a 3 kg /planta (Jiménez, 2000).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Definición de sitios.

Debido a que el periodo para ejecutar el proyecto de fertilización solo cubre dos años (1999-2000); se decidió trabajar con agricultores cooperantes que ya tuvieran establecida su plantación en campo, considerándose necesario elegir plantaciones de diferentes edades, de tal forma de abarcar la mayor parte de las etapas de crecimiento del agave. De esta forma, en la Región Sierra Sur, específicamente en el distrito de Yautepec, se eligieron dos sitios que a continuación se describen:

1. Sitio El Coyul, Yautepec. El Coyul es una agencia que pertenece al municipio de San Juan Lajarcia. El productor cooperante es el Sr. Francisco Bautista García y la plantación para el estudio fue establecida en campo en junio de 1995, con una separación entre hileras de 2.5 m y una separación entre plantas de 1.5 m, por lo que se tiene una densidad aproximada de 2,666 plantas por hectárea. El terreno tiene una pendiente ligera (entre 5-10%), suelo de color rojizo. De acuerdo a la tabla de clasificación por uso y manejo del suelo de la USDA (Abencerraje, 1986), por la profundidad efectiva del suelo se considera de clase 3/S1 (35-50 cm) y de clase 2/S3 por pedregosidad (5-10% del área total). Se encuentra a una altitud de 1,100 msnm. Al inicio del presente trabajo (junio 1999) la plantación tenía cuatro años de establecida en campo.

2. Sitio El Camarón, Yautepec. El Camarón es una agencia que pertenece al municipio de Nejapa de Madero. El productor cooperante es el Sr. Lucio Cortés Cortés y la plantación para el estudio fue establecida en campo en junio de 1996, con una separación entre hileras de 2.5 m y una separación entre plantas de 1.5 m, por lo que se tiene una densidad aproximada de 2,666 plantas por hectárea. El

terreno tiene una pendiente ligera (entre 5-10%), suelo de color blanquizco. Por profundidad pertenece a la clase 3/S1 y por pedregosidad a la clase 2/S3. Se encuentra a una altitud de 860 msnm. Al inicio del presente trabajo la plantación tenía tres años de establecida en campo.

En la región de los Valles Centrales se eligieron los siguientes sitios:

3. Sitio San Agustín Etna. El terreno se localiza dentro del municipio de San Agustín, perteneciente al distrito de Etna. El productor cooperante es el Sr. Jorge Díaz Robles y la plantación para el estudio fue establecida en campo en junio de 1996, con una separación entre hileras de 2.5 m y una separación entre plantas de 1.5 m, por lo que se tiene una densidad aproximada de 2,666 plantas por hectárea. El terreno tiene una pendiente entre un 15-20%; suelo de color blanquizco. Clase 3/S1 por profundidad y 2/S3 por presencia de rocas. Se encuentra a una altitud de 1,750 msnm. Al inicio del presente trabajo la plantación tenía tres años de establecida en campo.

4. Sitio San Agustín Amatengo, Ejutla. El terreno se localiza dentro del municipio de San Agustín Amatengo que pertenece al distrito de Ejutla. El productor cooperante es el Sr. Carino Baltazar Ramírez Aragón y la plantación para el estudio fue establecida en campo en junio de 1997, con una separación entre hileras de 2.2 m y una separación entre plantas de 2.0 m, por lo que se tiene una densidad aproximada de 2,270 plantas por hectárea. El terreno es plano, de color café, de clase 1 por profundidad. Se encuentra a una altitud de 1,370 msnm. Al inicio del presente trabajo la plantación tenía dos años de establecida en campo.

5. Sitio San Baltazar Guelavila, Tlacolula. Es una agencia del municipio de San Dionisio Ocotepéc, del distrito de Tlacolula. El productor cooperante es el Sr. Moisés Hernández y la plantación para el estudio fue establecida en campo en agosto de 1997, con una separación entre hileras de 3.0 m y una separación entre plantas de 1.3 m, por lo que se tiene una densidad aproximada de 2,560 plantas por hectárea. El terreno tiene una pendiente entre un 15-20%; suelo de color blanquizco. Clase 3/S1 por profundidad y clase 3/S3 por pedregosidad. Se

encuentra a una altitud de 1,775 msnm. Al inicio del presente trabajo la plantación tenía dos años de establecida en campo.

6. Sitio Colonia Emiliano Zapata (CEZ). El sitio se localiza dentro de los terrenos de la agencia Colonia Emiliano Zapata, perteneciente al distrito de Zaachila. El productor cooperante es el Sr. Alfonso Cerero Ojeda y la plantación para el estudio fue establecida en campo en junio de 1998, con una separación entre hileras de 2.4 m y una separación entre plantas de 2.2 m, por lo que se tiene una densidad aproximada de 1,895 plantas por hectárea. El terreno tiene una pendiente ligera (< 5%), suelo de color café. Clase 1 por profundidad (mayor a 100 cm) y clase 1/S3 (sin presencia de piedras). Se encuentra a una altitud de 1,495 msnm. Al inicio del presente trabajo la plantación tenía un año de establecida en campo. Un resumen de estos sitios aparece en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Características principales de los sitios de prueba y de las plantaciones de agave mezcalero, Junio 1999.

Sitio	Año de la Plantación	Edad al Inicio del Experimento	Asnm	Densidad (pl/ha)
1. El Coyul	Junio 1995	4	1,100	2,666
2. El Camarón	Junio 1996	3	860	2,666
3. Etlá	Junio 1996	3	1,750	2,666
4. Ejutla	Junio 1997	2	1,370	2,270
5. Guelavila	Agosto 1997	2	1,775	2,560
6. CEZ	Junio 1998	1	1,495	1,895

3.2. Diseño experimental y Tratamientos

En cada uno de los sitios se establecieron dos experimentos; en ambos casos, el diseño experimental fue en bloques completos al azar, con arreglo de tratamientos factorial 2³, dando un total de ocho tratamientos base, cada uno con cuatro repeticiones. Con excepción de Guelavila (4 plantas por parcela), todas las parcelas experimentales constaron de 5 plantas; teniéndose un total de 240

plantas por experimento. En todos los casos la especie en estudio fue *Agave angustifolia* Haw.

El experimento denominado “fertilización orgánica” llevó como factores de estudio: estiércol de bovino, composta y micorriza cada uno de ellos con dos niveles de aplicación (con y sin). Se consideran experimentos exploratorios donde se busca conocer si hay o no respuesta a determinado factor. El arreglo de los tratamientos permite tener un testigo absoluto (0-0-0) que sirve como referencia, así como las combinaciones para conocer posibles interacciones.

Las dosis aplicadas para cada factor fueron: estiércol (0 y 3 ton/ha), composta (0 y 1 ton/ha) y micorriza (0 y 5 kg/ha), éstas dosis se definieron considerando lo reportado en la literatura, así como la posibilidad de que técnica y económicamente fueran factibles de ser adoptadas por los productores.

Se tuvieron cuatro tratamientos adicionales siendo estos: T-9= (3ton estiércol-1 ton composta-10 kg micorriza) + 40N-20P₂O₅-20 K₂O; T-10= (1.5 ton estiércol-0.5 ton composta-10 kg micorriza) + 40N-20P₂O₅-20 K₂O; T-11= *Azospirillum*; T-12= lombriabono (Cuadro 4).

Los dos primeros tratamientos combinan la fertilización orgánica con la química; los dos últimos representan la participación de la bacteria del genero *Azospirillum*, que en otros cultivos se ha reportado incide positivamente para maximizar el aprovechamiento del nitrógeno atmosférico. La producción de lombriabono o vermicomposta representa el aprovechamiento de desperdicios y esquilmos agrícolas como base de la alimentación de la lombriz *Eisenia foetida* para la generación de fertilizante orgánico. Los dos últimos (11 y 12), se incluyeron de esta forma por disponerse, hasta última hora, de estos materiales;

Azospirillum se aplicó en dosis de 100 kg/ha, y lombriabono en dosis de una ton/ha.

Cuadro 4. Tratamientos del experimento de fertilización orgánica.

No. Trat.	Estiércol (ton/ha)	Composta (ton/ha)	Micorriza (Kg/ha)
1	0	0	0
2	3	0	0
3	0	1	0
4	3	1	0
5	0	0	5
6	3	0	5
7	0	1	5
8	3	1	5
Adicionales			
9	3 ton/ha estiércol +1 ton/ha composta + 10 kg/ha micorriza + (40N-20 P ₂ O ₅ -20 K ₂ O)		
10	1.5 ton/ha estiércol + 0.5 ton/ha composta + 10 kg/ha micorriza + (40N-20 P ₂ O ₅ -20 K ₂ O)		
11	<i>Azospirillum</i> (100 Kg/ha)		
12	Lombriabono (1 ton/ha)		

El experimento denominado “fertilización química” llevó como factores de estudio: Nitrógeno, Fósforo y Potasio con dos niveles de aplicación. También se ubica como un experimento exploratorio (con y sin aplicación de determinado factor). Las dosis a aplicar para cada factor fueron: N (0 y 60 kg/ha); P₂O₅ (0 y 30 kg/ha), y K₂O (0 y 40 kg/ha). Las dosis fueron elegidas en función de la experiencia que reporta la literatura en otros agaves, así como de la factibilidad económica de que estos resultados puedan ser aplicados por los productores. Los tratamientos adicionales al experimento base de fertilización química fueron: T-9= 80N-30 P₂O₅-60 K₂O; T-10= 40N-15 P₂O₅-20 K₂O; T-11= 20N-20 P₂O₅-20 K₂O; y T-12=80N-60 P₂O₅-80 K₂O. La inclusión de estos tratamientos tuvo como objetivo conocer la respuesta en, dosis medias y altas, integrando los tres elementos de la fertilización química (Cuadro 5). Por la disponibilidad de plantas, en el sitio Etlá, solo se tuvieron los dos primeros tratamientos adicionales (T-9 y T-10).

3.2.1. Descripción de los fertilizantes orgánicos utilizados:

Estiércol. Se utilizó estiércol seco de bovino, el cual es obtenido por los productores de sus animales de trabajo, básicamente de sus yuntas. El estiércol se tamizó para darle uniformidad y eliminar restos de cañuela de maíz y otros cuerpos extraños. Se analizó su contenido y estos fueron sus valores: pH (6.6); N (0.79%); P₂O₅ (40 ppm); K₂O (14.1 meq/100g) y M.O. (74 meq/100g). Tomando

una población promedio de 2,500 plantas de maguey/ha, se calculó la cantidad a aplicar para la dosis de 3 ton/ha, siendo esta de 1.2 kg/planta.

Cuadro 5. Tratamientos del experimento de fertilización química.

No. Trat.	Nitrógeno (Kg/ha)	Fósforo (P ₂ O ₅) (Kg/ha)	Potasio (K ₂ O) (Kg/ha)
1	0	0	0
2	60	0	0
3	0	30	0
4	60	30	0
5	0	0	40
6	60	0	40
7	0	30	40
8	60	30	40
Adicionales			
9	80	30	60
10	40	15	20
11	20	20	20
12	80	60	80

Composta. La composta utilizada se elaboró en el propio Campo Experimental, el proceso para su obtención fue: primero se colocó una capa de 2 cm de tierra, la cual tiene la finalidad de absorber los residuos producto de la descomposición de la M.O.; luego se colocó una capa de 5 cm de estiércol de bovino, que sirvió como fuente de microorganismos para descomponer los materiales; luego, una capa de 20 cm de rastrojos y hierba y que sirven como fuente de carbono. Esta misma secuencia se repitió hasta tener un apilamiento de 1.5 m de altura. Al final se cubrió con lodo y así se dejó para su descomposición total que duró 4 meses. Una vez concluido el proceso, se tamizó para uniformizarla; se tomaron muestras y se analizaron dando estos valores: pH (6.6%); N (0.57 %); P₂O₅ (31 ppm); K₂O (1.26 meq/100g) y M.O. (74%). Con la misma población promedio de 2,500 pl/ha se calculó la cantidad a aplicar para la dosis de 1 ton/ha, correspondiendo 400 g/planta.

Azospirillum. Este producto tenía un mínimo de 500 millones de bacterias benéficas del género *Azospirillum* por gramo de biofertilizante con la especificación de turba (peso seco 33%) y carbonato de calcio (peso seco 38%). Se usó a una dosis de 100 kg/ha, aplicándose 40 g/planta.

Micorriza. El producto contenía hongos benéficos del genero *Glomus*. Para la dosis de 5 kg/ha, se uso una población promedio de 2,500 pl/ha, de tal forma que se aplicaron 2g/planta. Estos microorganismos (*Azospirillum* y Micorriza), están siendo utilizados en los programas de Alianza para el Campo y fueron producidos por la SAGAR y el INIFAP.

Lombriabono. Se utilizó fertilizante orgánico obtenido de la biodegradacion del estiércol por la lombriz californiana (*Eisenia foetida*). Producto comercial de la empresa orgánica San Agustín, de San Agustín Etlá, Oaxaca; con las siguientes características: Bacterias (11' 725 000/cm³); pH (7.6); P₂O₅ (734.4 ppm/100g); N total (1.3 %); K₂O (25.2 meq/100g) y M.O. (21.4%). Se usó a una dosis de una ton/ha; aplicándose una cantidad de 400 g/planta.

3.2.2. Descripción de los fertilizantes químicos utilizados:

Como fuente de nitrógeno se utilizó Sulfato de Amonio (20.5%). Para la dosis de 60 kg N/ha, la estimación se hizo sobre la base de 2500 pl/ha; aplicándose una cantidad de 117 g/planta.

Como fuente de fósforo se utilizó Superosfato de Calcio Triple (0-46%-0). Para la dosis de 30 kg P₂O₅/ha, se aplicaron 26 g/planta.

Como fuente de potasio se utilizó Sulfato de Potasio (0-0-50%). Para la dosis de 50 kgK₂O/ha, se aplicó la cantidad de 32 g/planta.

3.3. Trabajo de campo.

Aplicación de la fertilización 1999 y toma inicial de "lecturas base".

En los meses de julio y agosto de 1999 se realizó la aplicación de los tratamientos de fertilización en cada uno de los sitios mencionados. Esta operación se realizó en la temporada de lluvias para asegurar humedad en el suelo y tener un mejor aprovechamiento de los fertilizantes. Para la aplicación del fertilizante, primero se hizo un hoyo al lado de cada planta, la profundidad del hoyo fue de aproximadamente 15-20 cm, se depositó en el fondo y se cubrió con una capa de tierra.

Una vez hecha la aplicación de los tratamientos de fertilización, se realizó la toma inicial de lecturas en cada uno de los sitios establecidos. Las variables medidas fueron:

Número total de hojas por planta: Con un marcador de tinta indeleble se señalaron y se contaron todas las hojas fotosintéticamente activas desplegadas que tenían en ese momento cada planta, luego se procedió a eliminar las espinas de cada hoja con tijeras podadoras.

Altura de planta: Se midió desde la base del suelo hasta la punta del cogollo.

Diámetro de planta: Se midió la extensión que alcanza la roseta, esto se hizo con mediciones en cruz, para obtener un valor más exacto.

Grosor del cogollo: En la base del cogollo se midió su grosor, con el uso de una cinta métrica o de un vernier.

Longitud del cogollo: La longitud del cogollo fue tomada desde la base del mismo (donde se midió el grosor), a la punta del cogollo.

Al eliminar las espinas de cada planta, dejando solo las que todavía no se separan del cogollo; permite conocer en las subsecuentes mediciones, el número de hojas nuevas o desenvueltas.

Las subsecuentes tomas de lecturas, se realizaron cada seis meses.

La segunda fertilización química y orgánica se realizó, al inicio de la temporada de lluvias (julio 2000) con los mismos tratamientos aplicados al inicio del estudio.

En los meses de Noviembre y Diciembre del 2000 se tomó la última lectura de estas variables para su análisis y conclusión del trabajo.

Cosecha de “piñas”.

En el mes de diciembre del 2000, en los experimentos del sitio El Coyul, el productor realizó la cosecha de algunas plantas que ya habían llegado a su madurez fisiológica comercial, por lo que se realizó el pesado de las piñas. En el mes de abril, se volvió a realizar otra cosecha de nuevas plantas. De esta forma, se obtuvo la información de esta variable solo para el experimento de fertilización química, por ser el de mayor crecimiento.

En los experimentos del El Camarón, el productor cosechó toda la plantación en el mes de marzo de 2001, obteniéndose el peso de piña, tanto del experimento

de fertilización orgánica como del experimento de fertilización química. Para el pesado de las piñas, se utilizó una báscula de reloj con capacidad de 200kg.

3.4. Análisis de suelos.

En todos los sitios, antes de la aplicación de los fertilizantes, se tomaron muestras para conocer las características químicas y físicas de los suelos al inicio de la investigación. Los análisis fueron realizados por personal del laboratorio de suelos del Instituto Tecnológico Agropecuario No. 23 de Oaxaca (ITAO).

3.5. Análisis de hoja y “piña” de agave mezcalero.

En noviembre de 2000, en los experimentos de El Coyul, a una planta de cada parcela se le tomó una muestra de una hoja basal (la parte más cercana al tallo), posteriormente se unieron las muestras de las hojas de un mismo tratamiento (I, II, III, IV) se cortaron en trozos pequeños, se mezclaron y se integró una muestra compuesta por tratamiento para su análisis.

En el caso de las piñas cosechadas, también a una piña por parcela, se le tomó una muestra de la parte inferior (cercana a la base), de aproximadamente 300 g, luego se unieron las muestras que de un mismo tratamiento; se fraccionaron en pequeños trozos y se uniformizó una mezcla compuesta. Con estas muestras se procedió a su análisis para conocer presencia de N, P y K; además de azúcares reductores totales y almidones. Esto solo fue posible de realizarlo en el experimento de fertilización química, debido a que era el de mayor crecimiento y fue donde se cosechó el mayor número de piñas. En el sitio El Camarón, por la rapidez con que se realizó la cosecha, no fue posible obtener muestras (ni de hoja ni de piña) para su análisis correspondiente. Estos análisis se realizaron por personal del laboratorio del IPN-CIIDIR Oaxaca; bajo la siguiente metodología:

Nitrógeno. La técnica fue macro Kjeldahl, realizada en un equipo combinado de digestión-destilación.

Fósforo. Se realizó la digestión del material seco y molido, por medio de ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno, seguida de la determinación colorimétrica del fósforo solubilizado, en un espectrofotómetro ultravioleta-visible, marca Shimadzu, modelo UV-240.

Potasio. Se utilizó el digestado descrito en el caso del fósforo. La determinación del potasio solubilizado fue hecha por espectrofotometría de absorción atómica, utilizando un equipo marca Perkin-Elmer, modelo 2380.

Azúcares reductores totales. El material seco y molido se sometió a una doble hidrólisis con ácido clorhídrico. La determinación de los azúcares disueltos se realizó volumétricamente, utilizando la técnica de Fehling.

Almidones. El material seco y molido, se sometió a una doble hidrólisis, ácida-alcalina, utilizando ácido clorhídrico e hidróxido de sodio. La determinación de los azúcares resultantes se realizó volumétricamente utilizando la técnica de Fehling.

3.6. Información climática.

Se contó con la información climática de las casetas meteorológicas cercanas a los sitios experimentales; la información se refiere a lluvia y temperatura.

3.7. Análisis estadístico.

Se procedió a concentrar y procesar la información de cada una de las variables en estudio. La parcela útil analizada fue de tres plantas por parcela. De un total de cinco plantas, se descartaron las dos que presentaron mayor heterogeneidad o que tuvieron daños por plagas y enfermedades.

Los análisis estadísticos se realizaron con los incrementos que alcanzaron las plantas durante el desarrollo de la investigación. Este valor se obtuvo, restándole a la lectura final, el valor inicial que se registró al principio del trabajo. Esto fue para todas las variables estudiadas: altura de planta, diámetro de planta, hojas nuevas, longitud de cogollo y diámetro de cogollo.

El análisis estadístico se hizo de acuerdo al diseño experimental y cuando se encontró significancia estadística entre tratamientos, se procedió a realizar la prueba de comparación de medias (Tukey 5%). El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete SAS, siguiendo la metodología señalada por Martínez, 1988.

Para aprovechar la inclusión de los tratamientos adicionales, se realizó también un análisis estadístico como bloques completos al azar con 12 tratamientos. Con las variables de crecimiento medidas, se realizó, en ambos casos (fertilización química y orgánica), una regresión múltiple considerando para el caso de Yautepec (Coyul y Camarón), el peso de piña como la variable dependiente.

3.8. Análisis Económico.

De acuerdo a la metodología del CIMMYT (Perrin *et al.*, 1976), se realizó el análisis económico solo de los componentes que variaron dentro del proceso productivo del cultivo, en este caso para los tratamientos de fertilización. Mediante la técnica de tratamientos superados, se seleccionaron los de mayor rentabilidad económica. Los pasos que se siguieron fueron: a). Definición de variables experimentales, b). Identificación de los costos que varían, c). Total de costos que varían, d). Rendimientos promedio, e). Valor de la producción, f). Beneficio bruto, g). Beneficio neto, h). Análisis de dominancia, i). Tasa marginal de retorno, j). Tasa mínima de retorno.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Caracterización de los sitios al inicio de los experimentos.

4.1.1. Suelos. Utilizando la clasificación de suelos para uso agrícola que proporcionan los laboratorios de análisis de suelos, en este caso por la (SEP/ITAO,1999) y que se basan en las siguientes tablas; “Potencial hidrógeno (Moreno,1978); Clasificación de materia orgánica (Velasco,1983); Interpretación general de fósforo aprovechable determinado por el método Bray (CSTPA,1980); Cationes intercambiables, acetato de amonio ph 7.0 (Etchevers *et al.*,1971)” Los análisis físicos y químicos de los suelos de los sitios en estudio indicaron que, con excepción de El Coyul que fue ligeramente ácido (6.39), el resto estuvieron dentro de la categoría de moderadamente alcalinos, el valor más bajo fue para El Coyul con 6.39 y el más alto para Guelavila con 8.11 (Cuadro 6). La mayoría se caracterizaron por contenidos pobres en materia orgánica, solo El Coyul presentó valores medios (2.32). El Camarón, Ejutla y Guelavila fueron los sitios con categoría de extremadamente pobres (0.542 a 0.861).

Con excepción de El Coyul que fue mediano (0.11), todos los suelos, fueron pobres en nitrógeno total con valores que abarcaron de 0.027 a 0.066%.

Para fósforo aprovechable, todos tuvieron valores deficientes, el más bajo fue para El Coyul, donde solo se registraron trazas; En cuanto a contenidos de potasio, todos los sitios quedan enmarcados dentro de las clases media-alta.

El contenido de Boro varió en un rango de 0.120 a 1.554 ppm. En términos generales, los suelos tienen una textura de franca a franco-arenosa.

Esta información confirmó lo que se había señalado anteriormente, en la sección de antecedentes, de que el agave mezcalero se cultiva en suelos de baja fertilidad.

Cuadro 6. Análisis físico y químico de los suelos de los sitios experimentales.

Sitio	pH	M.O (%)	N. Tot. (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	K ₂ O (meq/100g)	BORO (ppm)	Textura
1. Coyul	6.39	2.328	0.116	n.d.	1.414	0.708	Franco-Arc.-Arenoso
2. Camarón	7.52	0.861	0.043	3.65	2.334	0.767	Arenoso-Franco
3. Etlá	8.07	1.339	0.066	1.85	0.466	0.120	Franco-Arenoso
4. Ejutla	7.96	0.542	0.027	3.05	0.352	1.544	Arenoso-Franco
5. Guelavila	8.11	0.733	0.036	3.30	0.315	0.705	Franco-Arenoso
6. C.E.Z.	7.65	1.276	0.063	1.35	0.935	0.224	Franco-Arc.-Arenoso

Analizado por el Laboratorio de suelos del (SEP/ITAO, 1999)

Esto es importante puesto que en los ambientes naturales, uno de los factores que limitan el crecimiento de los agaves es el contenido de nutrimentos en el suelo, pudiendo afectar considerablemente la toma neta diaria de CO₂. Se ha demostrado que hay cinco nutrimentos en el suelo que tienen efectos importantes en el intercambio neto de CO₂ y en el crecimiento de varias de las especies de agaves: los macronutrimentos N, P y K, y los micronutrimentos: Boro, que tiene efectos positivos y Sodio que tiene efectos negativos. El crecimiento de los agaves en suelos arenosos es óptimo cuando hay 3 g de nitrógeno, 0.06 g de fósforo y 0.25 g de potasio por kg de peso de suelo seco. El nivel adecuado de boro para el crecimiento de agaves es de 0.001 g/kg peso de suelo seco. La salinidad (cloruro de sodio) por lo general inhibe el crecimiento de los agaves (Nobel, 1998).

4.1.2. Plantaciones. A pesar de que cada plantación de los sitios en estudio, fue establecida por el productor con material genético uniforme, en la misma fecha y con un mismo manejo de cultivo; se observó una fuerte variación dentro de los mismos sitios y consecuentemente dentro de los mismos experimentos (hay que recordar que en cada sitio hubo dos experimentos), siendo más evidente esta variación en las plantaciones de mayor edad. En el Cuadro 7, aparecen los valores

medios, a nivel de experimento, para cada una de las variables medidas, así como el rango en que se expresaron (valores máximos, mínimos y desviación estandar). Como el estudio incluyó plantaciones en diferentes edades, esta información permitió conocer sus características generales al inicio del estudio.

Cuadro 7. Características generales de las plantaciones al inicio de la investigación (Valores promedio por experimento, sitio y variable).

Sitio/Variable	Exp. Fertilización orgánica					Exp. Fertilización Química				
	Edad	Valores				Edad	Valores			
		Mín.	Máx.	\bar{X}	S \bar{X}		Mín.	Máx.	\bar{X}	S \bar{X}
Altura de planta (cm)										
1. El Coyul	4	93.6	172.0	132.8	20.5	4	115.6	205.3	164.4	20.0
2. El Camarón	3	112.0	197.6	162.2	19.0	3	98.0	184.6	147.1	19.3
3. Etla	3	56.6	119.7	84.0	10.3	3	52.4	111.1	86.3	10.6
4. Ejutla	2	37.9	97.2	73.3	13.9	2	42.9	94.0	69.6	11.6
5. Guelavila	2	60.0	100.0	78.4	8.5	2	58.2	96.2	77.7	7.0
6. C.E.Z.	1	16.0	52.0	31.6	8.8	1	9.6	32.7	18.8	6.2
Diámetro de planta (cm)										
1. El Coyul	4	135.3	236.5	183.0	26.7	4	172.6	282.5	218.7	27.5
2. El Camarón	3	140.8	247.3	203.2	25.0	3	129.7	228.3	176.2	22.7
3. Etla	3	86.3	163.8	119.9	14.5	3	91.1	175.3	126.4	16.4
4. Ejutla	2	40.6	121.3	89.9	17.7	2	53.0	111.0	86.0	14.6
5. Guelavila	2	90.1	161.1	128.7	14.3	2	102.8	159.8	130.8	11.7
6. C.E.Z.	1	17.9	69.5	40.5	12.9	1	31.1	79.3	44.5	13.0
Hojas por planta										
1. El Coyul	4	36.3	69.6	51.9	8.2	4	44.0	85.3	63.8	8.0
2. El Camarón	3	39.0	77.0	63.1	7.9	3	37.3	69.6	55.7	7.5
3. Etla	3	17.0	52.0	30.0	4.6	3	21.3	41.6	30.9	3.9
4. Ejutla	2	13.3	33.0	24.4	3.9	2	15.6	38.6	25.3	4.8
5. Guelavila	2	15.6	31.0	24.5	3.5	2	14.0	28.6	22.3	2.6
6. C.E.Z.	1	4.3	17.3	7.1	2.2	1	5.0	15.0	8.1	2.2
Longitud de cogollo (cm)										
1. El Coyul	4	71.6	137.3	103.1	17.6	4	94.3	162.0	127.2	15.4
2. El Camarón	3	69.0	146.6	118.9	15.7	3	80.0	136.0	110.2	15.0
3. Etla	3	47.3	93.8	66.8	7.9	3	44.5	86.8	68.0	7.8
4. Ejutla	2	31.6	78.5	59.7	11.2	2	37.2	75.1	56.6	8.9
5. Guelavila	2	41.9	78.4	65.6	8.5	2	51.9	80.9	66.9	7.0
6. C.E.Z.	1	5.0	24.1	13.0	4.3	1	6.8	28.6	14.9	5.5
Diámetro de cogollo (cm)										
1. El Coyul	4	6.8	15.0	10.2	1.9	4	9.4	16.6	12.7	1.6
2. El Camarón	3	8.3	15.3	12.3	1.0	3	7.0	12.5	10.2	1.5
3. Etla	3	4.2	8.2	5.6	0.6	3	3.8	8.1	5.9	0.7
4. Ejutla	2	1.7	6.4	4.3	0.9	2	2.7	6.5	4.5	0.9
5. Guelavila	2	3.1	6.1	4.4	0.6	2	3.4	5.8	4.3	0.5
6. C.E.Z.	1	0.2	1.7	0.7	0.3	1	0.3	1.8	0.9	0.3

Así por ejemplo en El Coyul (plantación de cuatro años), en la parte donde se ubicaron los tratamientos de fertilización orgánica; al inicio de la investigación la plantación tenía una altura de planta promedio de 132.8 cm, mientras que las plantas donde se aplicaron los tratamientos de fertilización química, tenían una altura de 164.4 cm, es decir, esta última “sección de plantas” tenía un 23.8% más de crecimiento en esta variable.

El diámetro de planta (roseta) promedio para la fertilización orgánica fue de 183.0 cm, mientras que para la fertilización química fue de 218.7 cm (19.5% a favor de esta última). El número total de hojas desplegadas para el primer caso fue de 51.9, en tanto que para la fertilización química fue de 63.8 (22.9% más). La longitud de cogollo tuvo valores de 103.1 cm para la fertilización orgánica y de 127.2 cm para la química (23.3% más). El diámetro de cogollo fue de 10.2 y 12.7 cm, respectivamente, 24.5% más a favor de la fertilización química.

Esto significó que la plantas, donde se establecieron los tratamientos de fertilización química de El Coyul, estaban más desarrolladas que donde se establecieron los tratamientos de fertilización orgánica. Esta situación de variabilidad dentro de los mismos sitios, fue evidente también en El Camarón; en este caso, la plantación donde se estableció el experimento de fertilización orgánica tenía un mayor desarrollo que donde se estableció la fertilización química. El resto de los experimentos: Etna, Guelavila, y Colonia Emiliano Zapata (CEZ), presentaron mejor uniformidad (Cuadro 7).

En general, los valores de cada sitio para la fertilización química, guardaron una correspondencia directa: a mayor edad, mayor crecimiento (Cuadro 7). Para la fertilización orgánica, resaltó en forma particular, la plantación de El Camarón, que siendo un año más joven, observó un mayor desarrollo que El Coyul; en el resto de los sitios, la relación se conservó: a mayor edad, mayor crecimiento. En el caso de las plantaciones de la misma edad (2 años), se observó, a través de todas las variables medidas, un mayor crecimiento a favor de Guelavila en comparación con Ejutla (Cuadro 7).

Los valores mínimos, máximos y de desviación estándar que se registraron para cada una de las variables, confirmaron la variación que se tuvo al interior de

los experimentos. Esta situación fue muy similar a la que enfrentaron Valenzuela y González (1995) en una investigación realizada en *Agave tequilana* en el estado de Jalisco; en donde la selección del sitio la hicieron mediante un recorrido minucioso por la región, ya que la variabilidad de las plantas era evidentemente grande y atribuyeron esta variabilidad a una deficiente selección por tamaño, a la diferencia de edad fisiológica de los hijuelos y a la heterogeneidad de los surcos por el manejo. En sus resultados, longitud de planta y longitud de cogollo fueron los de menor variación, pero número de hojas tuvo el doble de variabilidad; esto indicó que aún con una observación a detalle, las condiciones de variabilidad en las plantaciones de agave representan cierta dificultad para el investigador.

Toda esta información primaria (Cuadro 7), permitió conocer el estado inicial de desarrollo que guardaba cada plantación y sirvió como punto de partida para evaluar al final el efecto de los tratamientos de fertilización.

4.2. Respuesta del agave mezcalero a la fertilización orgánica.

4.2.1. Efecto de la aplicación individual: estiércol (E), composta (C) ó micorriza (M) en el crecimiento del agave mezcalero.

E. La información que generaron los análisis de varianza, junto con la concentración de datos ordenados de tal forma que se puedan visualizar los efectos individuales de la fertilización orgánica (E, C, M), en todos los sitios y en todas las variables analizadas, se presentan en el Cuadro 1A del Apéndice. Se aprecia que la aplicación de estiércol fue estadísticamente significativa para la variable altura de planta en Etna; indicando que cuando no se aplicó estiércol, los incrementos promedio fueron de 12.6 cm, mientras que con la aplicación de estiércol, promediaron 17.6 cm; lo que significó una superioridad de un 39.6% a favor del estiércol (Figura 2). En el resto de sitios y variables, no hubo efecto en la aplicación individual de este elemento. Este efecto ligero y poco consistente que se observó con la aplicación de estiércol, posiblemente se debió a que se usaron dosis bajas en comparación a lo que reportan otros autores; por ejemplo, Jiménez (2000), sugiere que la aplicación de estiércol en agave mezcalero se debe dar en

los primeros 3-4 años de edad con 2-3 kg/planta, lo que equivale a aplicar de 5.3 a 8 ton/ha. De igual manera, Ramírez (1993), reportó que la aplicación de 30N-40P₂O₅, y 15 ton/ha de gallinaza duplicó los rendimientos obtenidos en henequén.

C. Para la aplicación de composta, en ningún sitio y variable, hubo efecto en la aplicación individual de este elemento. Al trabajar con composta, es posible que la respuesta no se observe de inmediato, tal y como lo señalan Ruíz (1996); Ferrera-Cerrato y Santamaría (1996), de que a largo plazo, la composta mejora las condiciones de estructura, porosidad, permeabilidad y en general la fertilidad de los suelos, por lo que es necesario evaluar su efecto hasta la finalización del cultivo.

M. También para la aplicación de micorriza, en ningún sitio y variable, hubo efecto en la aplicación individual de este elemento. Sobre esta respuesta, es interesante citar lo observado por otros autores de que la micorrización, se presenta en varios agaves, pudiendo facilitar la absorción del fósforo. En el noroeste del desierto sonoreño, en *Agave deserti*, la micorriza se presentó en 2 a 11% de la longitud de la raíz, siendo un nivel muy bajo de infección en comparación con otras plantas del desierto y con plantas cultivadas en las que se da una infección de 60% de longitud de la raíz. El nivel de infección puede incrementarse si se mantiene a las plantas bajo condiciones húmedas, en especial en las raíces laterales de *Agave deserti*. Bajo condiciones húmedas, las micorrizas aumentan el nivel de fósforo y zinc en los tallos. Los efectos probablemente son menores bajo condiciones de campo y de hecho falta mucho que aprender acerca de la importancia de las micorrizas en los agaves (Nobel, 1998); por lo que se requiere una investigación más a fondo para corroborar estos efectos (Ferrera-Cerrato, 1990; Zavala *et al.*, 1998).

Sobre todo, por el bajo número de veces en que una variable fue estadísticamente significativa (frecuencia), se concluyó que hubo una débil respuesta a la aplicación individual de cualquiera de los tres elementos de la fertilización orgánica.

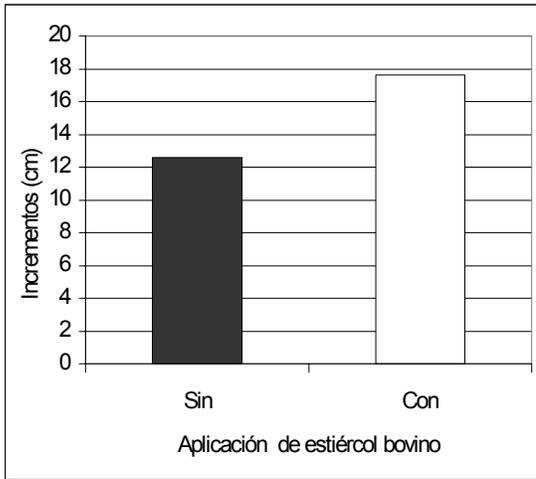


Figura 2. Altura de planta, efecto individual (Etlá).

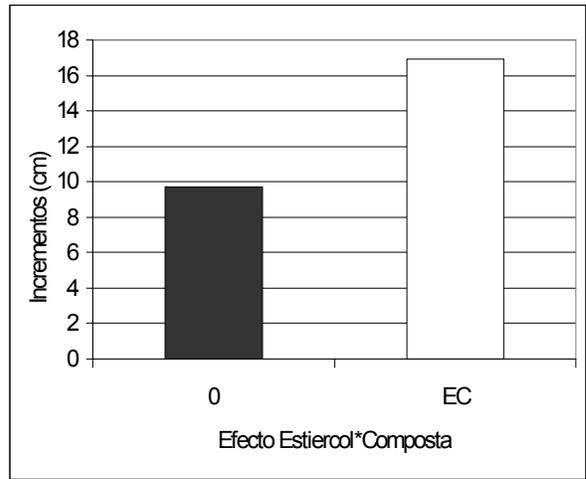


Figura 3. Altura de planta, efecto EC (Etlá).

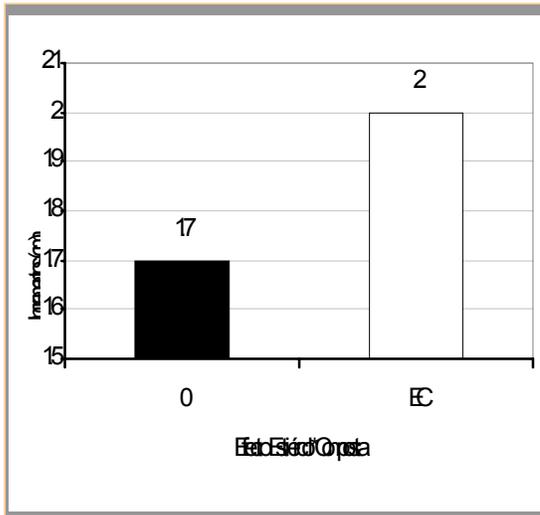


Figura 4. Diámetro de cogollo, efecto EC (Guelavila).

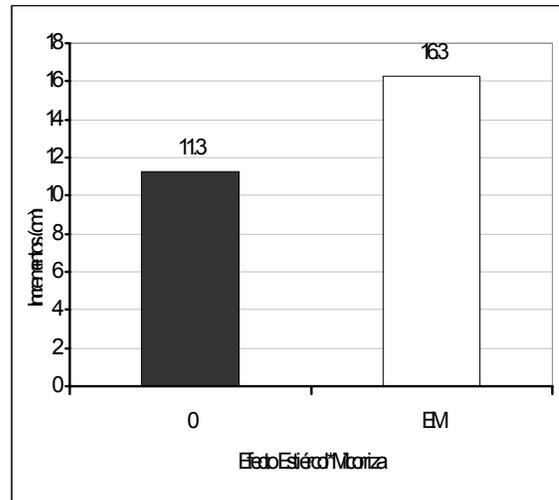


Figura 5. Altura de planta, efecto EM (Etlá).

4.2.2. Efecto combinado de la aplicación de dos elementos (EC, EM ó CM) en el crecimiento del agave mezcalero.

EC. El ordenamiento y concentración de toda la información agrupada como efecto combinado de dos elementos de la fertilización orgánica, se presenta en el Cuadro 2A del Apéndice. Hubo diferencias estadísticamente significativas para la interacción EC en Etlá para la variable altura de planta, estas diferencias representaron un 74.2% de mayores incrementos a favor de EC en comparación con el testigo absoluto; esto significó que cuando no se aplicó fertilización, las plantas de agave mezcalero tuvieron incrementos en su altura de 9.7 cm, en tanto que con la aplicación de EC, fueron de 16.9 cm (Figura 3).

Otro de los sitios donde hubo significancia estadística para EC fue Guelavila en la variable diámetro de cogollo, registrándose incrementos de un 17.6% a favor de esta interacción, es decir que cuando no se fertilizó, los incrementos en el diámetro de cogollo fueron de 1.7 cm, en tanto que con la aplicación de EC, fueron de 2.0 cm (Figura 4).

EM. Para la interacción EM, hubo diferencias estadísticamente significativas en Etlá, para la variable altura de planta, lo que significó un incremento del 44.2% a favor de esta interacción. Donde no se aplicó fertilización, los incrementos promedio fueron de 11.3 cm, mientras que con la interacción EM, fueron de 16.3 cm (Cuadro 2A).

En Etlá con la variable longitud de cogollo, también se detectaron diferencias significativas a favor de EM; apreciándose incrementos de un 40.7% a favor de la fertilización. Esto significó que cuando no se fertilizó, los incrementos alcanzados fueron de 7.6 cm, mientras que con EM fueron de 10.7 cm (Figura 5).

CM. Para la interacción CM, hubo significancia estadística en El Camarón para diámetro de planta, lo que significó incrementos de un 11.4% a favor de la interacción; cuando no se fertilizó, los incrementos promedio fueron de 56.1 cm, en tanto que con CM fueron de 62.5 cm (Cuadro 2A). El análisis de varianza para número de hojas nuevas también detectó diferencias significativas para la interacción CM en El Camarón, esto se reflejó en incrementos de un 2.5% sobre

el testigo. Cuando no se fertilizó el promedio de hojas nuevas por planta fue de 50.1 y cuando se aplicó CM fue de 51.4 hojas (Cuadro 2A).

A manera de resumen, en seis ocasiones se observaron diferencias estadísticamente significativas a favor de estas interacciones dobles. La interacción doble mostró valores más consistentes que los observados individualmente, de donde se deriva que el efecto de la fertilización orgánica en agave mezcalero, fue más evidente cuando participaron al menos dos de sus componentes. Por lo anterior, no debe rechazarse la hipótesis planteada al inicio del trabajo de que existe respuesta de conjunto a la fertilización orgánica.

4.2.3. Efecto combinado de la aplicación de tres elementos (ECM).

En el Cuadro 3A del Apéndice se presenta el análisis de varianza para altura de planta de todos los sitios de estudio. La interacción (ECM) fue estadísticamente significativa solo en Etlá; la superioridad a favor de esta interacción fue de un 125.3%; es decir, que cuando no se aplicó fertilización, los incrementos promedio en la altura de planta fueron de 6.3 cm, mientras que con ECM, fueron de 14.2 cm (Figura 6).

Los análisis de varianza para diámetro de planta en todos los sitios de estudio, se presentan en el Cuadro 4A del Apéndice, donde se apreciaron diferencias significativas para la interacción ECM en El Camarón y en Guelavila.

En El Camarón, cuando no se fertilizó los incrementos promedio fueron de 47.2 cm en tanto que con ECM, fueron de 56.2 cm, lo que significó una superioridad de un 19% sobre el testigo (Figura 7). En el caso de Guelavila, cuando no se fertilizó, el incremento fue de 10.2 cm, en tanto que con ECM, fue de 19.0 cm, es decir una superioridad de un 86.2% sobre el testigo (Figura 8).

Los análisis de varianza para la variable hojas nuevas por planta en todos los sitios de estudio, se presentan en el Cuadro 5A del Apéndice; en donde se apreció que para esta triple interacción ECM, en ninguno de los casos se observó significancia estadística.

Los análisis de varianza para la variable longitud de cogollo de todos los sitios de estudio se presentan en el Cuadro 6A del Apéndice, en donde se apreció

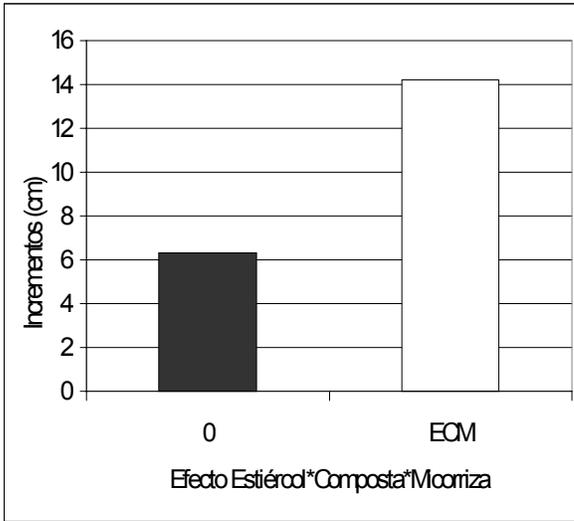


Figura 6. Efecto ECM, altura de planta (Etila).

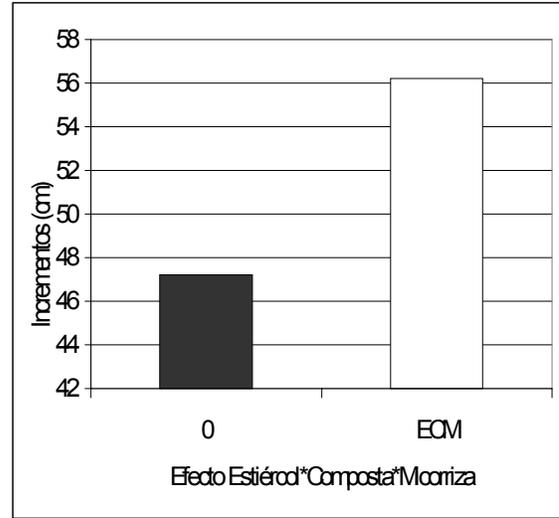


Figura 7. Efecto ECM, diámetro de planta (Camarón)

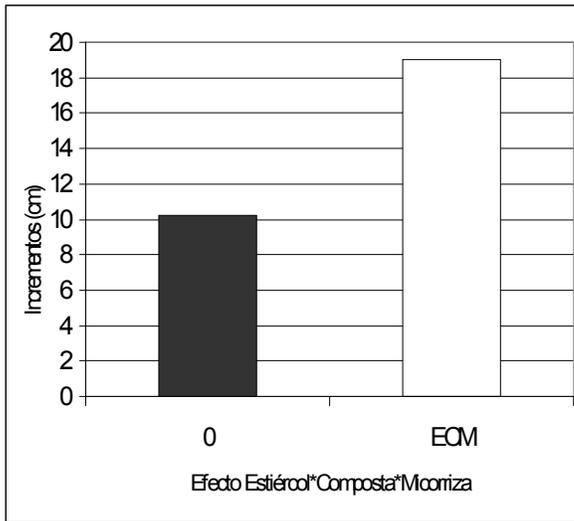


Figura 8. Efecto ECM, diámetro de planta (Guelavila).

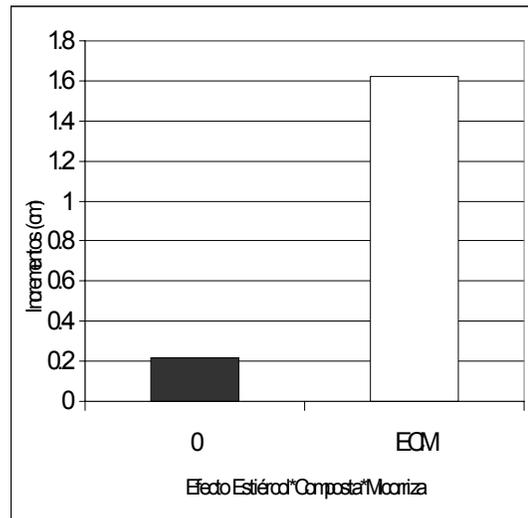


Figura 9. Efecto ECM, diámetro de cogollo (Camarón)

que para esta triple interacción ECM, en ninguno de los casos hubo significancia estadística.

Los análisis de varianza para la variable diámetro de cogollo en todos los sitios de estudio, se presentan en el Cuadro 7A del Apéndice; donde se apreció que en El Camarón, hubo diferencias estadísticamente significativas para esta interacción. Esto significa que cuando no se aplicó fertilización los incrementos promedio fueron de 0.21 cm (100%), mientras que con ECM fueron de 1.62 cm, representando una superioridad de un 671.4% a favor de esta interacción (Figura 9).

A manera de resumen, se tuvo que la triple interacción ECM fue estadísticamente significativa en tres sitios y en tres variables distintas, por lo que se confirma la hipótesis de que la acción conjunta de estos tres elementos de la fertilización orgánica, produjo efectos significativos sobre el crecimiento del agave mezcalero. Con la finalidad de identificar los mejores tratamientos de la fertilización orgánica; en el Cuadro 8, se ha concentrado la información de estas cuatro variables que dieron significancia estadística para la interacción ECM. La prueba de medias (DMS o Tukey) permitió identificar un primer grupo de significancia estadística (letra a) en donde invariablemente el testigo siempre fue superado. En términos generales, la mayoría de los tratamientos de fertilización fueron superiores al testigo. T-8 que fue el tratamiento que integró los tres elementos (3-1-5), fue de los más consistentes puesto que siempre estuvo dentro del primer grupo de significancia estadística (Figuras 10,11,12 y 13). Estos resultados permitieron aceptar la hipótesis planteada al inicio del trabajo, de que al menos un tratamiento de la fertilización orgánica es estadísticamente superior al testigo.

Los coeficientes de variación fueron altos corroborando la variabilidad entre sitios y dentro de los mismos experimentos ya indicada anteriormente, a esto, también se le incorpora la variación debida al error experimental.

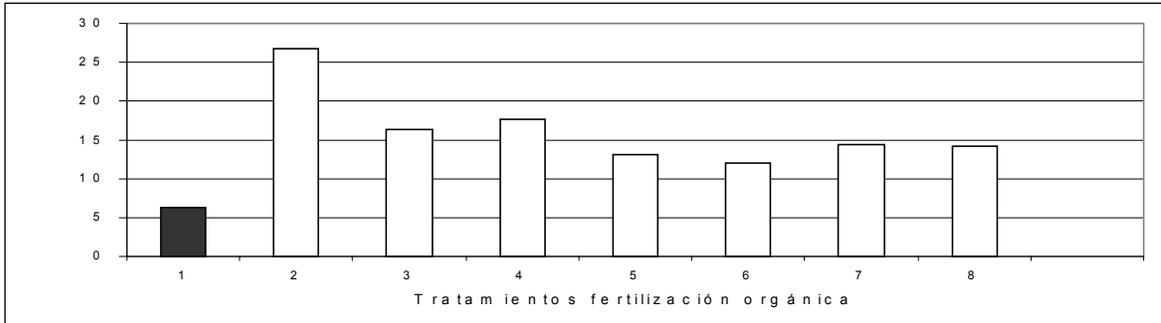


Figura 10. Incrementos en altura de planta (cm). Etlá.

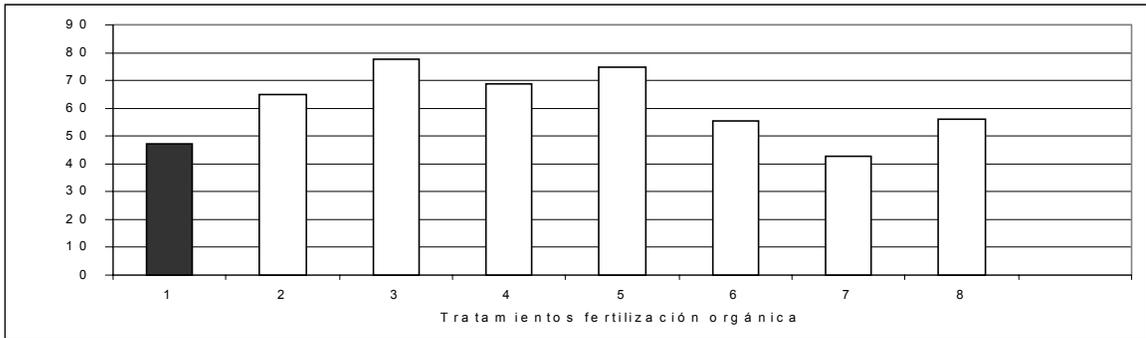


Figura 11. Incrementos en diámetro de planta (cm). El Camarón, Yautepec.

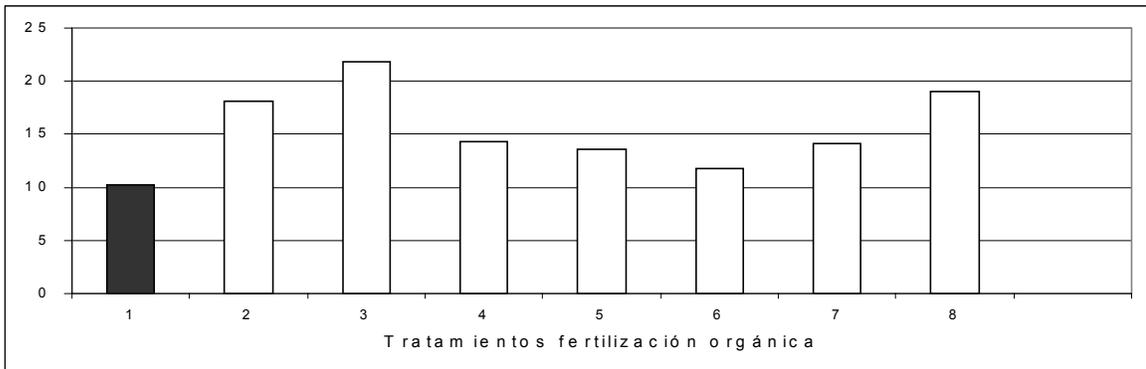


Figura 12. Incrementos en diámetro de planta (cm). Guelavila.

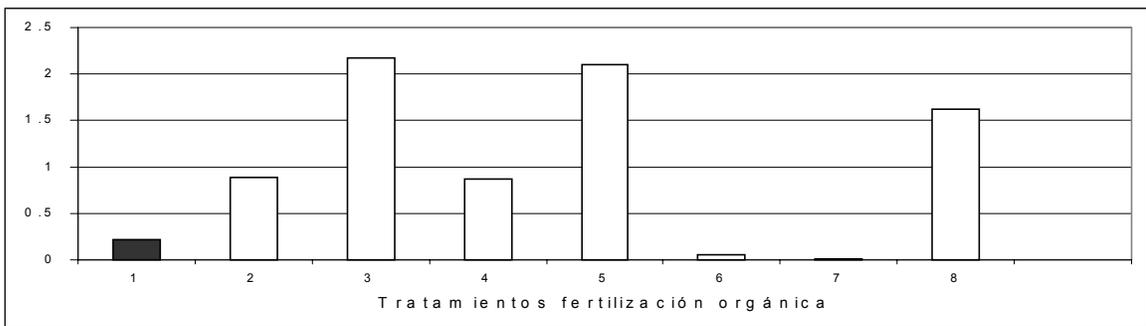


Figura 13. Incrementos en diámetro de cogollo (cm). El Camarón, Yautepec.

Como tendencia general, promediando todos los valores a través de variables y sitios (cuadros 3 al 7 del Apéndice), la fertilización orgánica (T8=3E-1C-5M) fue superior en un 29% sobre el testigo absoluto (T-1=0E-0C-0M), siendo manifiesta en todas las variables analizadas. También como tendencia general, con excepción de Ejutla, en el resto de los sitios la fertilización orgánica fue superior en un 47.2% sobre el testigo absoluto, siendo más evidente en Guelavila.

Cuadro 8. Análisis de varianza, por sitio y variable, de los experimentos con significancia estadística para la interacción ECM.

No.	Tratamientos			Etlá			Camarón			Guelavila			Camarón		
	E	C	M	Altura de planta			Diámetro planta			Diámetro planta			Diámetro cogollo		
				cm	Sig.	%	cm	Sig.	%	cm	Sig.	%	Cm	Sig.	%
1	0	0	0	6.3		100	47.2		100	10.2		100	0.22		100
2	3	0	0	26.7	a	424	65.0	a	138	18.1	a	177	0.89	a	424
3	0	1	0	16.4	a	260	77.5	a	164	21.8	a	214	2.17	a	1033
4	3	1	0	17.7	a	281	68.9	a	146	14.3	a	140	0.87	a	414
5	0	0	5	13.1	a	208	74.9	a	159	13.6	a	133	2.10	a	1000
6	3	0	5	12.0		190	55.3	a	117	11.8	a	116	0.05	a	214
7	0	1	5	14.4	a	228	42.7		90	14.1	a	138	0.01		4.5
8	3	1	5	14.2	a	225	56.2	a	119	19.0	a	186	1.62	a	771
Media				15.1			60.9			15.4			0.93		
CV(%)				40.7			29.8			48.5			175.7		
Pr>F Rep.				0.17			0.24			0.11			0.60		
E				0.02			0.90			0.70			0.79		
C				0.59			0.91			0.15			0.67		
EC				0.04			0.79			0.41			0.37		
M				0.14			0.26			0.59			0.73		
EM				0.01			0.55			0.80			0.79		
CM				0.79			0.01			0.99			0.22		
ECM				0.03 *			0.03 *			0.04 *			0.01 **		
Prueba de medias (0.05)				14.6			26.8			11.1			2.42		
				Tukey			DMS			DMS			DMS		

* = pr \square 0.05 ** = pr \square 0.01

4.2.4. Efecto de los tratamientos adicionales.

Para conocer el efecto de los tratamientos adicionales sobre el crecimiento del agave mezcalero, se realizó el análisis de varianza como bloques al azar con un total de 12 tratamientos y cuatro repeticiones. Los resultados indicaron diferencias

estadísticamente significativas para tratamientos en las siguientes variables y sitios: número de hojas nuevas en El Camarón y Guelavila; altura de planta en Etna y Guelavila, y diámetro de cogollo en Guelavila (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza por sitio y variable de los experimentos de fertilización orgánica, con significancia estadística para los tratamientos adicionales.

No. Trat	Tratamientos			Camarón			Etna			Guelavila			Guelavila			Guelavila		
	E	C	M	Hojas nuevas			Altura planta			Altura planta			Hojas nuevas			Diámetro cogollo		
				cm	Sig.	%	Cm	Sig.	%	Cm	Sig.	%	Cm	Sig.	%	Cm	Sig.	%
1	0	0	0	47.7		100	6.3		100	14.2		100	13.1		100	1.45		100
2	3	0	0	52.5	a	110	26.7	a	424	17.8	a	125	15.4		117	2.30	a	159
3	0	1	0	51.8	a	108	16.4	a	260	18.1	a	127	15.8		121	1.75	a	121
4	3	1	0	61.4	a	129	17.7	a	281	17.2	a	121	15.0		114	2.02	a	139
5	0	0	5	50.9	a	107	13.1	a	208	16.3	a	115	14.3		109	1.95	a	134
6	3	0	5	51.7	a	108	12.0	a	190	15.7	a	110	16.6	a	127	2.30	a	159
7	0	1	5	46.6		98	14.4	a	228	16.6	a	117	15.7		120	2.25	a	155
8	3	1	5	46.1		97	14.2	a	225	17.1	a	120	15.8		121	1.70	a	117
9	(3E+1C+10M) + 40N-20P ₂ O ₅ -20K ₂ O			50.7		106	15.0	a	238	27.0	a	190	20.3	a	155	2.65	a	183
10	(1.5E+0.5C+10M) + 40N-20 P ₂ O ₅ -20 K ₂ O			48.8		102	14.1	a	224	22.2	a	156	21.2	a	162	2.75	a	189
11	<i>Azospirillum</i>			51.7		108	20.3	a	322	12.4		87	14.0		107	1.67	a	115
12	Lombriabono			53.7		112	9.9	a	157	15.2	a	107	15.4		117	1.67	a	115
Promedio				51.1		107	15.0		235	17.5		135	16.0		135	2.03		150
CV				9.4			44.3			27.6			13.1			22.1		
Pr>F Rep				0.00 **			0.28			0.02 *			0.31			0.10*		
Tratamientos				0.01 **			0.02 *			0.02 *			0.00**			0.00**		
Tukey 5%				11.9			16.5			12.0			5.2			1.12		

Para la variable número de hojas nuevas, en El Camarón, todos los tratamientos adicionales superaron al testigo (100%) promediando un valor general de 107%. T-9 (3E+1C+10M)+40N-20P₂O₅-20K₂O, T-11 (*Azospirillum*) y T-12 (Lombriabono) fueron estadísticamente superiores al testigo según el primer grupo de significancia estadística (Tukey 5%).

Para la variable altura de planta, los resultados indicaron que en Etna, los tratamientos adicionales también superaron al testigo (100%) con un valor general de 235.2%. T-9, T-10 y T-11 fueron superiores al testigo de acuerdo al primer grupo de significancia estadística obtenido con la prueba de medias. En Guelavila también en esta misma variable, el promedio general de los tratamientos adicionales superó en un 135.1% al testigo (100%). Con la prueba de separación

de medias se observó que T-9, T-10 y T-12 fueron estadísticamente superiores al testigo.

En Guelavila la variable número de hojas nuevas, indicó que los tratamientos adicionales fueron en promedio 135.2% superiores al testigo (100%). De acuerdo a la separación de medias (Tukey 5%), T-9 y T-10 fueron estadísticamente superiores al testigo según el primer grupo de significancia obtenido.

Finalmente, en Guelavila para la variable diámetro de cogollo, todos los tratamientos adicionales fueron estadísticamente superiores al testigo (100%), observando un valor promedio de 150.6% (Cuadro 9).

De acuerdo al número de veces que el tratamiento estuvo dentro del primer grupo de significancia estadística en estas tres variables y en estos tres sitios, el tratamiento T-9 (3E+1C+10M)+40N-20P₂O₅-20 K₂O fue el más consistente de todos. Le siguieron T-10 (1.5E+0.5C+10M)+40N-20P₂O₅-20K₂O, T-11 (*Azospirillum*) y T-12 (lombriabono).

Con estos resultados obtenidos, a manera de resumen se puede decir lo siguiente: los tratamientos adicionales contribuyeron a fortalecer lo observado sobre el efecto conjunto de la fertilización orgánica en el crecimiento del agave mezcalero. Los mejores resultados se presentaron cuando se manejó una combinación de fertilización orgánica (ECM) con fertilización química. Estos avances confirman lo observado en otras especies vegetales de que el efecto es más evidente cuando se hace una aplicación combinada; por ejemplo en mezquite (*Prosopis sp*), los promedios más altos se obtuvieron siempre con el tratamiento que incluyó niveles altos de los tres factores en estudio: *Rhizobium*, *Glomus* y Fósforo (Khalil-Gardezi *et al.*, 1999).

También en guaje (*Leucaena leucocephala*); los mejores promedios en las cuatro variables evaluadas se alcanzaron al inocular con *Glomus sp.* Zac-19, además de 1.5 tonha-1 de M.O., esto fue suficiente para que los promedios alcanzados fueran estadísticamente iguales a los obtenidos con 12 ton/ha de M.O. (Khalil-Gardezi *et al.*, 1999).

Una confirmación de estos resultados, es lo que en la práctica se está realizando en siembras comerciales de agave tequilero en Jalisco; actualmente, se

recomienda la aplicación de éstos microorganismos mediante un producto denominado BuRIZE cuya composición es 100 propágulos/cc de *Glomus intraradices*, diluyendo 44 g en 20 litros de solución nutritiva y aplicándolo al momento del trasplante en dosis de 5-8cc/planta (Consejo Regulador del Tequila, 1999). Cuando los cultivos ya están establecidos, se recomienda aplicar de 20-50 lt/ha, en dosis de 500 a 1000 cc/planta (Buckman Laboratories, 2001).

Azospirillum y lombriabono también influyeron positivamente sobre el crecimiento del agave por lo que deben ser considerados como elementos importantes en futuros trabajos de fertilización orgánica. El comportamiento destacado del tratamiento que llevó *Azospirillum*, ameritará mayores estudios, puesto que como dicen (Basan *et al.*, 1996), la interacción *Azospirillum*-planta aún no es del todo conocida en cultivos agrícolas básicos (maíz, trigo, arroz), que es en donde se ha observado mayor respuesta a *Azospirillum*. En agave mezcalero, prácticamente no hay información sobre este biofertilizante.

4.2.5. Efecto de la fertilización orgánica en el contenido de N, P, K, azúcares y almidones en hoja de agave mezcalero.

Como ya se indicó en el capítulo tercero; los análisis de hojas de agave mezcalero correspondieron a muestras obtenidas en el experimento de fertilización orgánica de El Coyul, Yautepec.

Con relación a la presencia de Nitrógeno (%) en las hojas de agave mezcalero, los análisis (Cuadro 10) indicaron que ningún tratamiento superó al testigo, el cual registró un valor de 0.87. Para Fósforo (%), los valores indicaron que tres tratamientos tuvieron contenidos superiores al testigo: T-3 (0-1-0) superior en un 24%, T-7 (0-1-5) en un 117% y T-8 (3-1-5) superior en un 900% (Figura 14). Aparentemente, la presencia de fósforo en las hojas del agave, guardó cierta relación con los tratamientos que llevaron composta. Los contenidos de Potasio (ppm) indicaron que no hubo diferencia entre el valor del testigo y los obtenidos por los tratamientos con fertilización orgánica. Los contenidos de almidón (%) en la hoja fueron prácticamente iguales para el testigo como para los tratamientos de

fertilización orgánica. Para los contenidos de azúcares (%), fue evidente que todos los tratamientos superaron al testigo, el cual tuvo un valor de 9.14 (100%) y el valor promedio de los tratamientos con fertilización orgánica fue de 14.09 equivalente a un 154% (Figura 15).

La importancia que tienen los azúcares en agave mezcalero, es que se transforman en alcohol bajo el siguiente proceso: el maguey al ser cocido en los hornos (la inulina, principal polisacarido presente en la planta), sufre una hidrólisis (rompimiento de las moléculas por acción del agua), transformándose en azúcares fermentables; los azúcares que se obtienen son fructuosa y lebulosa (Quiroz, 1999). En un trabajo de investigación (Allier-González *et al.*, 1998) reportaron que al cabo de 60 horas de cocimiento a 85°C en calor seco, el contenido de azúcares en maguey alcanzó un máximo de 32.1% en promedio. Las levaduras (*Saccharomyces servicea* principalmente) al actuar sobre la fructuosa y lebulosa, se alimentan de los azúcares transformándolos en alcoholes.

Con estos resultados, se pudo concretar que los contenidos de N, K y almidón en las hojas de maguey mezcalero fueron iguales a los tratamientos que llevaron fertilización orgánica. En donde si se observaron mayores contenidos a favor de la fertilización orgánica fue en fósforo (231%) y azúcares (154%) respecto al testigo (100%).

La información que se obtuvo con los tratamientos adicionales sobre contenidos de N, P, K, azúcares y almidones en hojas de maguey fue la siguiente: la presencia de N fue prácticamente igual a lo observado con los primeros ocho tratamientos (Cuadro 10). Hubo una mayor presencia de fósforo, promediando 167.2%, todos por arriba del testigo (100%), esta evidencia fue más clara que la observada con los ocho tratamientos base. La presencia de azúcares también

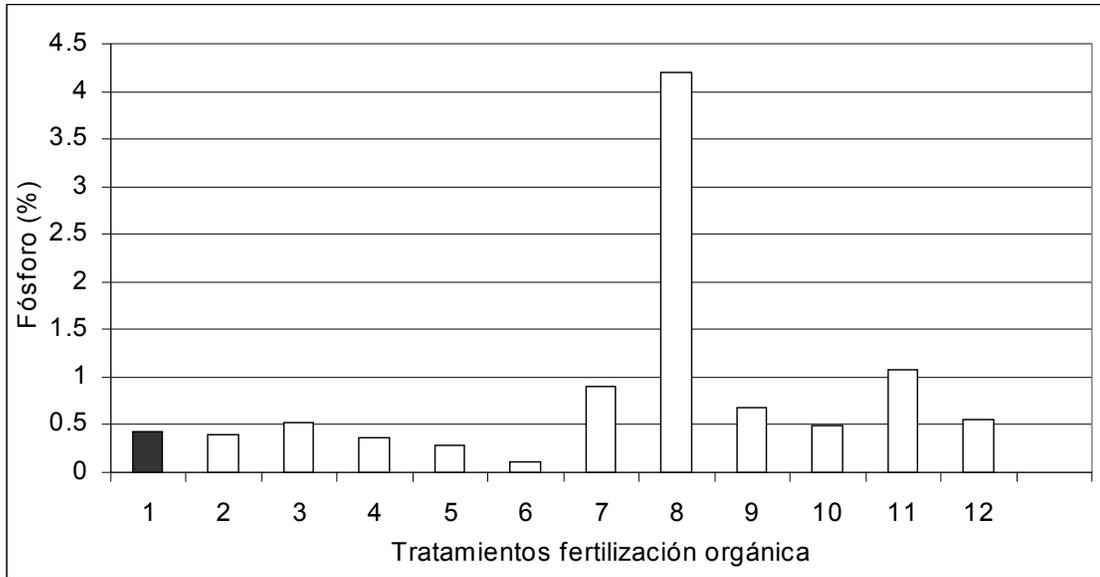


Figura 14. Contenidos de fósforo en hojas de agave. El Coyul, Yautepec.

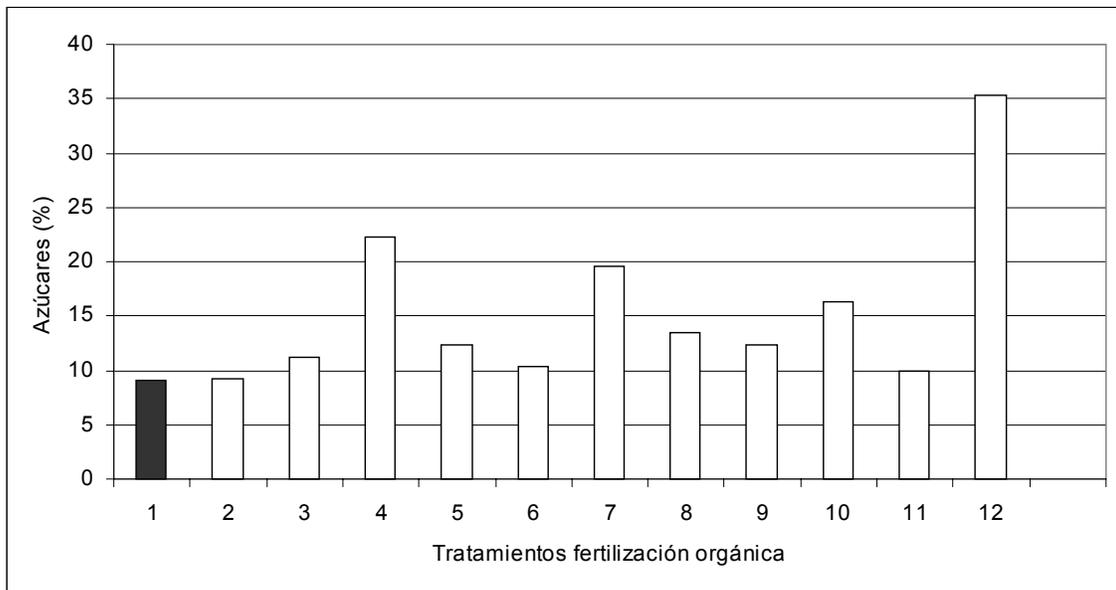


Figura 15. Contenidos de azúcares (%) en hojas de agave mezcalero. El Coyul, Yautepec.

fue más evidente en los tratamientos adicionales, todos ellos superiores al testigo (100%) con un valor promedio observado de 202.3%. Los valores registrados con potasio, fueron prácticamente iguales a los obtenidos con el diseño base. Para la presencia de almidones, solo dos tratamientos T-10 (105.4%) y T-12 (114.5%) fueron superiores al testigo (100%), situación muy similar a la presentada con los tratamientos base.

Cuadro 10. Presencia de N, P, K, almidones y azúcares en hojas de agave mezcalero. Experimento de fertilización orgánica El Coyul Yautepec, Oax.

No. Trat	Tratamiento			N (%)		P (%)		K (ppm)		Azúcares (%)		Almidones (%)	
	E	C	M	(valor)	% resp. Testigo	(valor)	% resp. Testigo	(valor)	% resp. Testigo	(valor)	% resp. Testigo	(valor)	% resp. Testigo
1	0	0	0	0.87	100	0.42	100	117.5	100	9.14	100	1.65	100
2	3	0	0	0.66	76	0.40	95	120.0	102	9.28	101	1.64	99
3	0	1	0	0.87	100	0.52	124	118.5	101	11.27	123	1.69	102
4	3	1	0	0.71	82	0.36	86	119.5	102	22.29	244	1.87	113
5	0	0	5	0.70	80	0.29	69	119.0	101	12.38	135	1.62	98
6	3	0	5	0.76	87	0.11	26	115.0	98	10.34	113	1.50	91
7	0	1	5	0.72	83	0.91	217	113.5	96	19.59	214	1.66	101
8	3	1	5	0.68	78	4.20	1000	117.5	100	13.48	147	1.62	98
Adicionales													
9	(3E-1C-5M)+ 40N-20P ₂ O ₅ -20K ₂ O			0.65	75	0.68	162	117.0	99	12.33	135	1.52	92
10	(1.5E-0.5C-10M)+ 40N-20P ₂ O ₅ -20K ₂ O			0.78	89	0.49	117	116.0	99	16.29	178	1.74	105
11	<i>Azospirillum</i>			0.72	83	1.08	257	115.0	98	10.00	109	1.56	94
12	Lombriabono			0.63	72	0.56	133	110.0	94	35.37	387	1.89	114

Análisis realizados en el laboratorio de Suelo y Planta del IPN-CIIDIR, Oaxaca.

4.2.6. Efecto de la fertilización orgánica en el peso de “piñas”.

En el sitio El Camarón, el productor cooperante cosechó toda la plantación cuando esta tenía cinco años de edad; esto dio oportunidad de obtener la información referente a la variable peso de piñas. La información que se analizó correspondió al experimento de fertilización orgánica de este sitio.

El análisis de varianza para esta variable se presenta en el Cuadro 11, se observó significancia estadística para la interacción E*C*M. Por las mínimas diferencias que hubo entre uno y otro tratamiento, la prueba de Tukey o DMS con un nivel de significancia de 0.05, no alcanzaron a separar tratamientos. Para tener una primera aproximación de los mejores tratamientos, se aplicó la prueba de

medias (DMS) con un nivel de probabilidad $\alpha= 0.2$ lo que permitió separar un primer grupo, formado por cinco tratamientos dentro de los cuales se incluye al testigo; de este grupo, solo T-6 (3-0-5) superó numéricamente al testigo.

El peso promedio de piña a nivel experimento fue de 50.7 kg. La estimación de los rendimientos tomando como base una población de 2666 pl/ha, dio un rendimiento de 135.1 ton/ha de piña de maguey mezcalero para el sitio El Camarón.

Cuadro 11. Análisis de varianza para peso de piña del experimento de fertilización orgánica, El Camarón Yautepec, Oax.

No. Trat.	Tratamientos			Tratamientos Factorial			Tratamientos adicionales				
	E	C	M	(Kg/piña)	(%)	Ton/ha	Trat.	(Kg/piña)	(%)	Ton/ha	
1	0	0	0	62.00	a	100	165.2	0-0-0	62.00	100	165.2
2	3	0	0	50.25	a	81	133.9	3-0-0	50.25	81	133.9
3	0	1	0	39.50		64	105.3	0-1-0	39.50	64	105.3
4	3	1	0	52.25	a	84	139.2	3-1-0	52.25	84	139.2
5	0	0	5	42.25		68	112.6	0-0-5	42.25	68	112.6
6	3	0	5	64.75	a	104	172.6	3-0-5	64.75	104	172.6
7	0	1	5	53.00	a	85	141.2	0-1-5	53.00	85	141.2
8	3	1	5	41.75		67	111.3	3-1-5	41.75	67	111.3
Promedio				50.71			135.1	9	75.75	122	201.9
CV				35.8				10	68.00	110	181.2
Pr>F Rep				0.22				11	56.75	91	151.2
E				0.63				12	64.75	104	172.6
C				0.21							149.0
E*C				0.72							
M				0.93							
E*M				0.69							
C*M				0.75							
E*C*M				0.03	*						
D.M.S.(20%)				17.0							

El análisis de varianza como bloques al azar, considerando los tratamientos adicionales para la variable peso de piñas, no mostró diferencias significativas para tratamientos en El Camarón, Yautepec. Tomando la significancia estadística con un nivel $\alpha= 0.28$ y con una prueba de medias DMS (0.05), permitió, con las reservas del caso, diferenciar tratamientos: los cuatro tratamientos adicionales se ubicaron dentro del primer grupo de significancia estadística, donde también estuvo el testigo (Cuadro 11). Tres tratamientos fueron numéricamente superiores al testigo T-9 (122.1%), T-10 (109.6%) y T-12 con 104.4% (Figura 16).

En el sitio El Coyul, el productor cooperante realizó un primer corte solo en las plantas que alcanzaron su madurez fisiológica, a esta práctica se le conoce comúnmente como “entresacar”, por esta razón, solo se presenta el valor promedio de las plantas cosechadas, no habiendo análisis de varianza puesto que todavía no se termina la cosecha (Cuadro 12).

Cuadro 12. Peso promedio de las piñas del experimento de fertilización orgánica del Coyul, Yautepec, Oax.

No. Trat.	Tratamientos			Peso de piñas		
	E	C	M	(Kg)	(%)	(Ton/ha)
1	0	0	0	38.5	100	102.6
2	3	0	0	39.0	101	103.9
3	0	1	0	47.0	122	125.0
4	3	1	0	70.2	182	187.1
5	0	0	5	29.5	77	78.6
6	3	0	5	40.0	104	106.6
7	0	1	5	41.0	106	109.3
8	3	1	5	53.5	139	142.6
Promedio				44.8		119.4
Adicionales						
9	(3E-1C-5M)+ 40N-20P ₂ O ₅ -20K ₂ O			30.0	78	79.9
10	(1.5E-0.5C-10M)+ 40N-20P ₂ O ₅ -20K ₂ O			50.9	132	135.6
11	<i>Azospirillum</i>			50.5	131	134.6
12	Lombriabono			83.0	215	221.2

En forma preliminar se observa que los tratamientos de fertilización orgánica produjeron piñas de mayor peso, superando en un 18.7% al testigo (Figura 17). El peso promedio de la piña fue de 44.8 kg. Considerando que en El Coyul se tuvo una población de 2666 pl/ha y multiplicando este valor por el peso medio de la piña, se obtuvo un rendimiento estimado de 119.4 ton/ha de piña de agave mezcalero.

Revisando las estadísticas de agave tequilero, se conoce que el peso promedio por piña varía entre los 20-30 kg (Villalvazo, 1986; SAGAR-ASERCA,

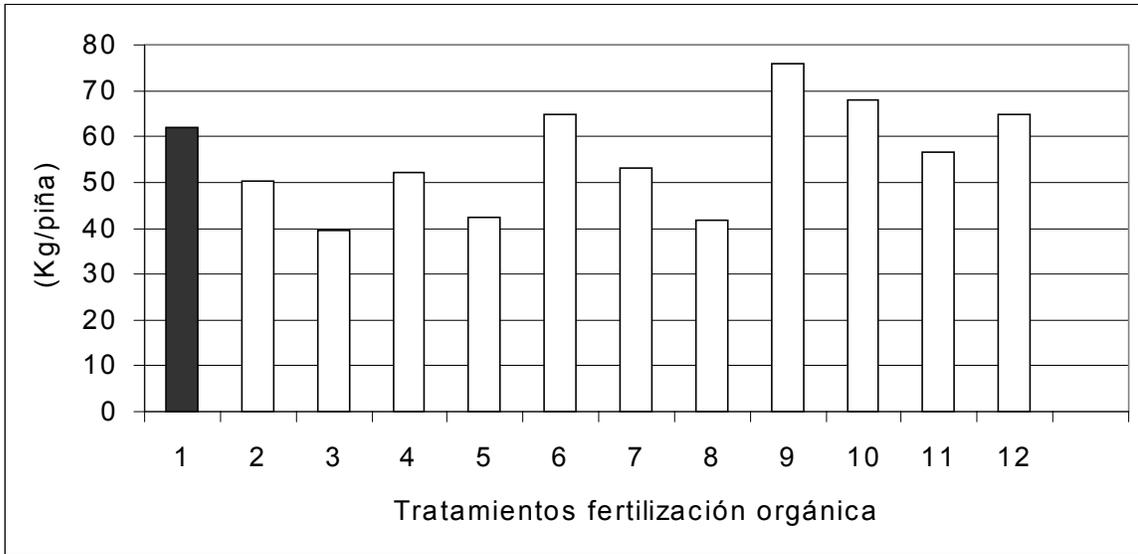


Figura 16. Peso de “piñas” de agave mezcalero. Experimento El Camarón Yautepec, Oax.

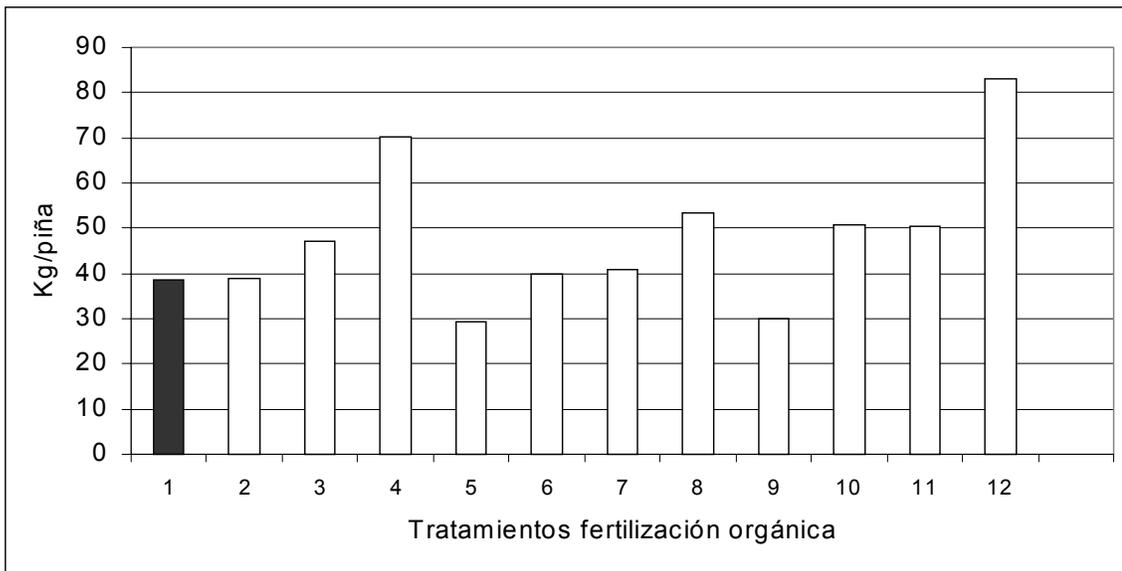


Figura 17. Peso de “piñas” de agave mezcalero. Experimento El Coyul, Yautepec, Oax.

2000), desde luego que existen piñas de mayor peso (80-150 kg), pero estas no son la generalidad. Cotejando con los resultados obtenidos en esta evaluación de agave mezcalero; los pesos promedio de piña (50.7 y 44.8 kg) indicaron que fueron mayores que los de agave tequilero. Los rendimientos de piña por hectárea van a depender mucho de la densidad de plantas que se tenga; en agave tequilero se reporta (de 1990-1999), un rendimiento medio de 125.9 ton/ha (SAGAR-ASERCA, 2000) con densidades de 3,000 pl/ha. Los rendimientos estimados en la presente investigación fueron de 135.1 y 119.4 ton/ha, uno superior y el otro similar a agave tequilero, pero con una menor densidad de siembra (2,666 pl/ha).

4.2.7. Interrelación entre las variables de crecimiento y peso de piñas.

Mediante el programa Computacional SAS, se corrió un análisis de regresión múltiple con todas las variables del experimento de fertilización orgánica de El Coyul Yautepec: X1= Altura de planta. X2= Diámetro de planta. X3= Número de hojas nuevas. X4= Longitud de cogollo. X5= Diámetro de cogollo. X6= Contenido de N en la hoja. X7= Contenido de P en la hoja. X8= Contenido de K en la hoja. X9= Contenido de azúcares en la hoja. X10= contenido de almidones en la hoja. Y= Peso de piña.

Los resultados indicaron que altura de planta correlacionó positiva y significativamente con diámetro de planta, con número de hojas nuevas, con longitud de cogollo y con azúcares en la hoja; interpretándose de que al haber incrementos en la altura de las plantas, consecuentemente habrá incrementos en su diámetro, en su número de hojas nuevas, en su longitud del cogollo y en azúcares en la hoja (Cuadro 13).

Diámetro de planta solo correlacionó positivamente con el número de hojas nuevas.

Número de hojas nuevas tuvo una correlación negativa y estadísticamente significativa con diámetro de cogollo; lo que se interpreta que entre más hojas emitió la planta de maguey, menor fue su diámetro del cogollo, lo cual es entendible puesto que del cogollo se van desarrollando las hojas nuevas.

En El Camarón también se corrió una regresión múltiple entre las siguientes variables: X1= Altura de planta. X2= Diámetro de planta. X3= Número de hojas nuevas. X4= Longitud de cogollo. X5= Diámetro de cogollo. Y= Peso de piña.

Los resultados indicaron que hubo una correlación positiva y significativa entre altura de planta y longitud de cogollo (Cuadro 14). Diámetro de planta correlacionó positivamente con diámetro de cogollo. Hubo una correlación positiva y significativa entre longitud de cogollo y diámetro de cogollo. Diámetro de cogollo correlacionó negativamente con peso de piña.

Estos resultados son congruentes y corroboran los ya obtenidos en El Coyul. De igual forma, coinciden con Martínez 1985 y 1988 (citado por José, 1995) quien trabajó con *Agave salmiana* Otto ex Salm sp. *crassispina* (Trel) y encontró una alta correlación entre diámetro de la roseta y la altura de la planta para la estimación indirecta de la biomasa.

Cuadro 14. Coeficientes de regresión entre las variables del experimento de fertilización orgánica del Camarón Yautepec.

	X1	X2	X3	X4	X5	Y
X1	1	0.42 0.16	-0.17 0.58	0.56 0.05	0.46 0.12	-0.10 0.74
X2		1	0.50 0.09	0.31 0.32	0.81 0.00	-0.55 0.06
X3			1	-0.46 0.13	0.16 0.60	0.00 0.99
X4				1	0.66 0.01	-0.37 0.22
X5					1	-0.72 0.00
Y						1

4.2.8. Análisis económico de los tratamientos de la fertilización orgánica.

Siguiendo la metodología de análisis económico de los experimentos en finca del Programa de Economía del CIMMYT (Perrin *et al.*,1986), se definieron en primer término, las “variables experimentales”, que para este caso fueron los 12

tratamientos de la fertilización orgánica. Luego se procedió a la “Identificación de los costos que varían”, siendo estos los relacionados con insumos y mano de obra para la aplicación de estos tratamientos. Para poder realizar lo anterior, se definieron los costos para cada uno de los elementos de la fertilización orgánica:

Para el caso del estiércol, el flete de un camión de volteo con 6 m³ de estiércol de bovinos cuesta \$ 175, más el valor del estiércol mismo \$ 200, y suponiendo que 1m³ de estiércol pesa 800 kg, entonces el valor de una tonelada de estiércol fue de \$ 75.

Para el caso de la composta, se contabilizaron seis jornales que se ocuparon para la elaboración de la misma, lo que dio un valor de \$300, más \$ 40 de 500 kg de estiércol empleado y \$ 75 por esquilmos agrícolas; de esta forma se obtuvo un valor de \$ 415 la tonelada de “composta casera” o domestica. Para micorriza se utilizó el costo que actualmente tiene dentro de los Programas de Alianza para el Campo, siendo de \$15 la bolsa de un kilogramo. El precio del lombriabono fue de \$3,000 la tonelada. El valor del *Azospirillum* fue también el que se maneja dentro de los Programas de Alianza para el Campo, siendo de \$15 la bolsa de 375 g, lo que significa un costo de \$40 por kg de *Azospirillum*.

Para sulfato de amonio (20.5%) como fuente de N, se obtuvo un costo de \$1.4 kg. Para superfosfato triple de calcio (46%), de \$2.0 kg. Para sulfato de potasio (50%), el valor fue de \$ 2.8 kg.

Con esta información se calcularon y se obtuvieron los “totales de costos que varían” para cada uno de los tratamientos (Cuadro 15); luego se procedió a la obtención de los “rendimientos promedio”, usándose los registrados con los pesos de piña de los experimentos cosechados de El Camarón y El Coyul. Estos rendimientos experimentales fueron ajustados por un factor (0.8) para tener un rendimiento más aproximado al de los productores (Cuadro 15). Luego se obtuvo el “valor de cosecha”. El valor de una tonelada de piña es de \$ 3,333.

El beneficio por concepto de azúcares se obtuvo de la siguiente manera: en base a presencia de azúcares registrados para cada tratamiento, se obtuvo la

diferencia en contenidos con respecto al testigo, a la mayor diferencia (en este caso 26.23 para T-12), se le dio el valor de \$333, que equivale al 10% del precio de una tonelada de piñas \$3,333. Este porcentaje fue el que se decidió aplicar para bonificar por el concepto de azúcares. Tomando como base que 26.23 es igual a \$ 333, se obtuvieron las diferencias (en \$) para el resto de tratamientos. Para obtener el valor total de bonificación, se multiplicó esta diferencia por el rendimiento ajustado de cada tratamiento. Finalmente, al valor de la cosecha se le agregó esta compensación, obteniéndose el valor total de la cosecha ó beneficios brutos (Cuadro 8A del Apéndice).

Los “beneficios netos” se obtuvieron restándole a los beneficios brutos, el “total de costos que varían”. Una vez concluido el “presupuesto parcial” para los 12 tratamientos, se procedió a comparar el total de costos que varían con los beneficios netos en cada tratamiento, esta comparación comienza con un “análisis de dominancia”. El análisis de dominancia consistió en ordenar los tratamientos según los beneficios netos (ordenados de mayor a menor); comparando los beneficios netos; si un tratamiento tiene mayor o igual “total de costos que varían” que cualquier otro tratamiento, pero menor beneficio neto, se dice que este es un tratamiento dominado, el cual deja de ser considerado (Cuadro 16).

Cuadro 15. Presupuesto parcial de los tratamientos de fertilización orgánica

No	Tratamiento	Total costos que varían	Rend. Ajustado	Bonificación por azúcar (10%)	Beneficios brutos Más azúcar	Beneficios netos
1	0-0-0	0	107.12	0	357,030.90	357,030.90
2	3-0-0	3,650	95.12	168.36	317,203.32	313,553.3
3	0-1-0	1,900	92.24	2,490.48	309,926.4	308,026.4
4	3-1-0	5,550	130.56	21,790.46	456,946.94	451,396.9
5	0-0-5	350	90.08	3,702.28	303,938.92	303,588.9
6	3-0-5	4,000	111.68	1,697.53	373,926.97	369,926.97
7	0-1-5	2,250	100.24	13,291.82	347,391.74	345,141.74
8	3-1-5	5,900	101.52	5,583.60	343,949.76	338,049.76
9	(3-1-10)+40-20-20	6,794	112.72	4,564.00	380,259.76	373,465.76
10	(1.5-0.5-10)+40-20-20	4,024	126.79	11,508.72	434,099.79	430,075.79
11	<i>Azospirillum</i>	8,200	114.36	1,247.66	382,409.54	374,209.54
12	Lombriabono	9,200	157.54	52,460.82	577,541.64	568,341.64

Las tasas marginales de retorno se calcularon dividiendo el cambio en “beneficio neto” por el cambio en los “costos que varían totales”. Se definió una Tasa Mínima de Retorno” (TAMIR) con los siguientes elementos: el productor para aplicar la tecnología de la fertilización, requiere una cantidad de \$10,000 en dos años; si solicita un préstamo se usa una tasa de interés anual del 20%, más los gastos por comisión \$50 y gastos que hace el productor para tramitar el préstamo \$ 100; de esta forma, el costo total del préstamo es de \$ 4,150. Esta cantidad se obtuvo dividiendo $(4,150/10,000 = 41.5)$ y significa el costo del capital por la duración del préstamo. A esto, se agrega un 25% por concepto de costo de manejo, de esta manera la “Tasa Mínima de Retorno” será de $41.5+25 = 66.5\%$.

Cuadro 16. Tasas marginales de retorno para los tratamientos de fertilización orgánica.

No.	Tratamiento	Beneficio neto	Costos que Varían	Análisis de dominancia	Tasa Marginal de Retorno
12	Lombriabono	568,341.64	9200		3,203 %
4	3-1-0	451,396.9	5550		1,397%
10	(1.5-0.5-10)+40-20-20	430,075.79	4024		250,620%
11	Azospirilum	374,209.54	8200	D	
9	(3-1-10)+40-20-20	373,465.76	6794	D	
6	3-0-5	369,926.97	4000		322%
1	0-0-0	357,030.90	0		
7	(0-1-5)	345,141.74	2250	D	
8	(3-1-5)	338,049.76	5900	D	
2	3-0-0	313,553.3	3650	D	
3	0-1-0	308,026.4	1900	D	
5	0-0-5	303,588.9	350	D	

De acuerdo al procedimiento del análisis económico, cuatro tratamientos fueron económicamente atractivos: T-4 (3-1-0), T-6 (3-0-5), T-10 (1.5-0.5-10) +(40N-20P-20K) y T-12 (lombriabono), el resto se descartaron al estar dominados.

En el T-6, el agricultor invertirá \$ 4,000 y obtendrá un beneficio neto de \$ 369,926 con una tasa marginal de retorno de 322% lo que se interpreta que por cada peso invertido, recuperará el peso más \$3.22, al pasar de no fertilizar (T-1) a la aplicación de 3 ton de estiércol y 5 kg de micorriza.

Para el T-10, el agricultor invertirá \$ 4,024 y obtendrá un beneficio neto de \$ 430,075 con una tasa marginal de retorno de 250,620%, lo que se interpreta que por cada peso invertido, recuperará el peso más \$ 2,506, al pasar de no fertilizar a la aplicación de 1.5 ton de estiércol, más 0.5 ton de composta, más 10 kg de micorriza + 40N-20P₂O₅-20K₂O/ha.

En el T-4, el agricultor invertirá \$ 5,500 y obtendrá un beneficio neto de \$ 451,396 con una tasa marginal de retorno de 1,397% lo que se interpreta que por cada peso invertido, recuperará el peso más \$13.9, al pasar de no fertilizar a la aplicación de 3 ton de estiércol y una tonelada de composta.

En el T-12, el agricultor invertirá \$ 9,200 y obtendrá un beneficio neto de \$ 568,341 con una tasa marginal de retorno de 3,203% lo que se interpreta que por cada peso invertido, recuperará el peso más \$32, al pasar de no fertilizar a la aplicación de una tonelada de lombriabono.

4.3. Respuesta a la fertilización química.

4.3.1. Efecto de la aplicación individual (N, P₂O₅, K₂O).

N. En el Cuadro 9A del Apéndice, se presenta toda la información concentrada por sitios y variables, ordenada por efectos individuales; según los análisis estadísticos, para altura de planta en Guelavila hubo diferencias altamente significativas. Cuando no se aplicó fertilizante, los incrementos promedio en altura de planta fueron de 14.8 cm (100%) mientras que con la aplicación de nitrógeno fueron de 22.5 cm, lo que significó un 52% sobre el testigo (Figura 18).

La variable número de hojas nuevas también fue altamente significativa en Guelavila; cuando no se aplicó fertilización, los incrementos fueron de 17.7 (100%), mientras que con nitrógeno fueron de 24.1 hojas, lo que representó un incremento de un 36.1% sobre el testigo (Figura 19). Particularmente este porcentaje obtenido, fue ligeramente menor al reportado por Nobel (1998): cuando aplicó N en *Agave deserti*, en donde el número de hojas desenrolladas fue el

doble que el testigo, obteniendo resultados similares en *A. lechuguilla*, *A. fourcroydes* y *A. sisalana*.

En esta misma localidad de Guelavila, hubo diferencias altamente significativas para nitrógeno observado en la variable longitud de cogollo; cuando no llevó fertilización, sus incrementos promedio fueron de 9.1 cm (100%), mientras que con la aplicación de N, fueron de 14.2 cm, lo que significó un incremento del 56% sobre el testigo (Figura 20).

En la variable diámetro de cogollo en Guelavila, también hubo significancia estadística para nitrógeno; indicando que cuando no se fertilizó, los incrementos promedio fueron 1.9 cm (100%) en tanto que con N, fueron de 2.8 cm, es decir un 47.3% más sobre el testigo (Figura 21).

A pesar de que la investigación de fertilización en agaves es escasa; un estudio hecho por Carrion (1981) en Cuba en plantas de 5 años de *A. fourcroydes* fertilizadas con 100-300 kg N/ha, produjeron 18 ton/ha de fibra en 9 años; mientras que sin fertilizar rindieron 18.3 ton/ha pero en 15 años, resaltando la reducción del ciclo del cultivo con aplicación de fertilizantes.

P₂O₅. Para fósforo, solo una variable mostró significancia estadística. Cuando no se aplicó este elemento en Guelavila, el valor promedio alcanzado en los incrementos de altura de planta fue de 15.9cm (100%), en tanto que con fósforo, fue de 21.4 cm, lo que significó una superioridad del 34.5% sobre el testigo (Figura 22).

K₂O. La aplicación de potasio fue estadísticamente significativa en CEZ en la variable altura de planta; cuando no se aplicó fertilización los incrementos promedio fueron de 18.3 cm, en tanto que con la aplicación de K fueron de 21.8 cm, es decir un 19% más sobre el testigo (Figura 23).

En resumen, se puede decir que la aplicación individual de nitrógeno ayudó a incrementar el crecimiento del agave mezcalero en un 47.8% sobre el testigo, observada esta respuesta en cuatro variables del crecimiento: altura de planta, hojas nuevas, longitud de cogollo y diámetro de cogollo. Esto corrobora lo señalado por Nobel (1998), de que la fertilización con productos inorgánicos que contengan nitratos, casi siempre aumentará el crecimiento de agaves

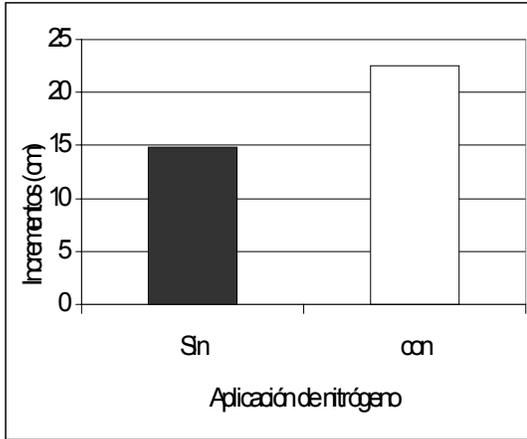


Figura 18. Efecto del nitrógeno en altura de planta (Guelavila).

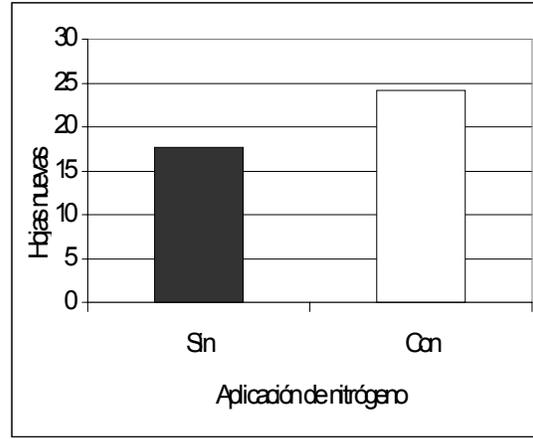


Figura 19. Efecto de nitrógeno en hojas nuevas (Guelavila).

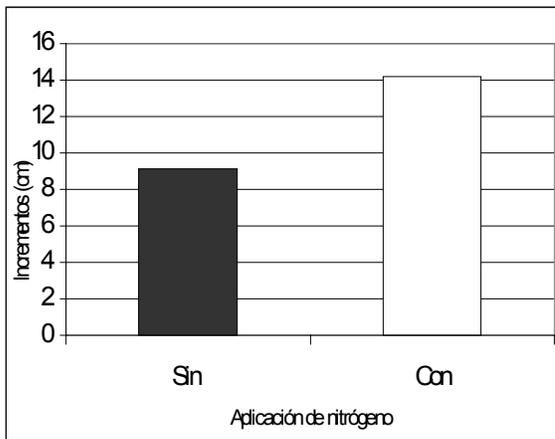


Figura 20. Efecto de N en longitud de cogollo (Guelavila).

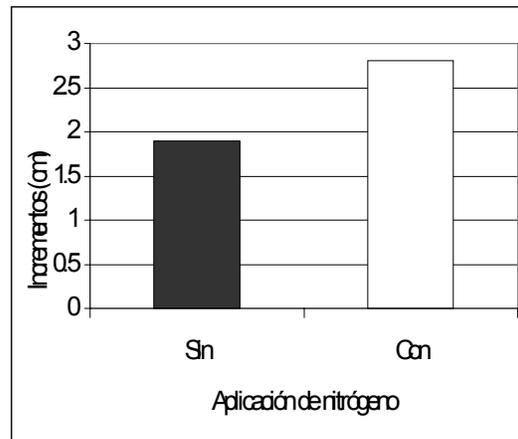


Figura 21. Efecto de N en diámetro de cogollo (Guelavila).

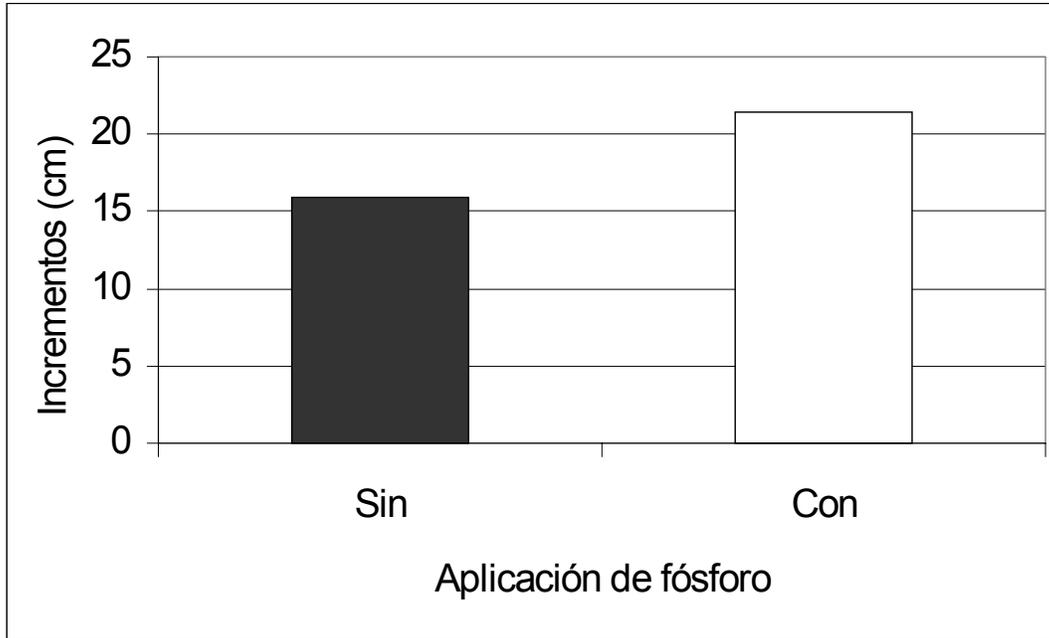


Figura 22. Efecto del Fósforo en altura de planta (Guelavila).

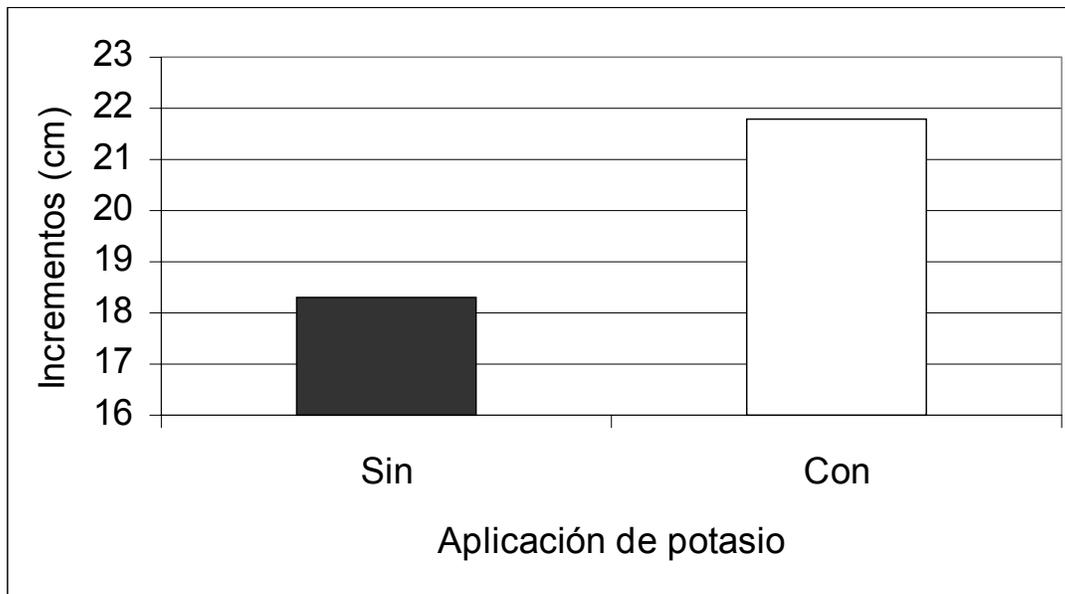


Figura 23. Efecto del potasio en altura de planta (CEZ).

cultivados. Fósforo ayudó también al crecimiento del agave mezcalero en un 34.5% sobre el testigo, observado solo en variable altura de planta en Guelavila.

La aplicación de potasio se vio reflejada en un 19% el crecimiento del agave mezcalero, observada en la variable altura de planta del sitio CEZ. Es posible que la presencia de este elemento en los suelos de los sitios en estudio (categoría de media a alta), no haya permitido apreciar con mayor evidencia el efecto en las aplicaciones de potasio. También, por lo que se reporta en otros lugares; se puede interpretar que las máximas respuestas a potasio se van a observar, mas que en el crecimiento, en la calidad del mismo; según lo describe (SQM México Nitratos Chilenos) “el proceso de acumulación de azúcares en la piña se hace especialmente activo a partir del tercer año de edad y es de extrema importancia en los tres últimos años del cultivo, donde se puede llegar a acumular hasta el 70% del total de azúcares que serán cosechados. El potasio es el principal responsable del transporte de los azúcares que el *Agave azul tequilana* Weber elabora en sus pencas y que son movilizados a la piña para ser almacenados”.

4.3.2. Efecto de la aplicación combinada (N-P₂O₅, N-K₂O ó P₂O₅-K₂O).

N-P₂O₅. La única variable en la que fue estadísticamente significativa la aplicación de NP fue en altura de planta en CEZ. Cuando no se aplicó fertilizante se tuvieron incrementos promedio de 17.7 cm en tanto que con NP fueron de 20.8 cm, ó sea, un incremento de un 17.5% a favor de esta interacción (Cuadro 10A y Figura 24). En el resto de sitios, en ninguna variable, se observó significancia estadística para la interacción NP.

N-K₂O. La única variable en la que fue estadísticamente significativa la aplicación de NK fue en altura de planta en Ejutla. Pero como la diferencia fue a favor del testigo, se considero que no hubo significancia. En el resto de sitios, en ninguna variable se observó significancia estadística para la interacción NK.

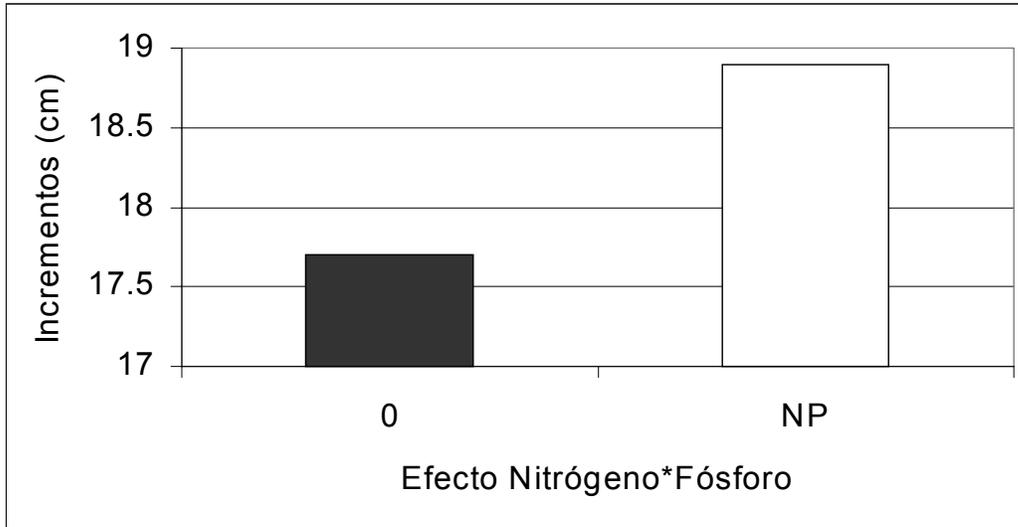


Figura 24. Efecto N*P en altura de planta (CEZ).

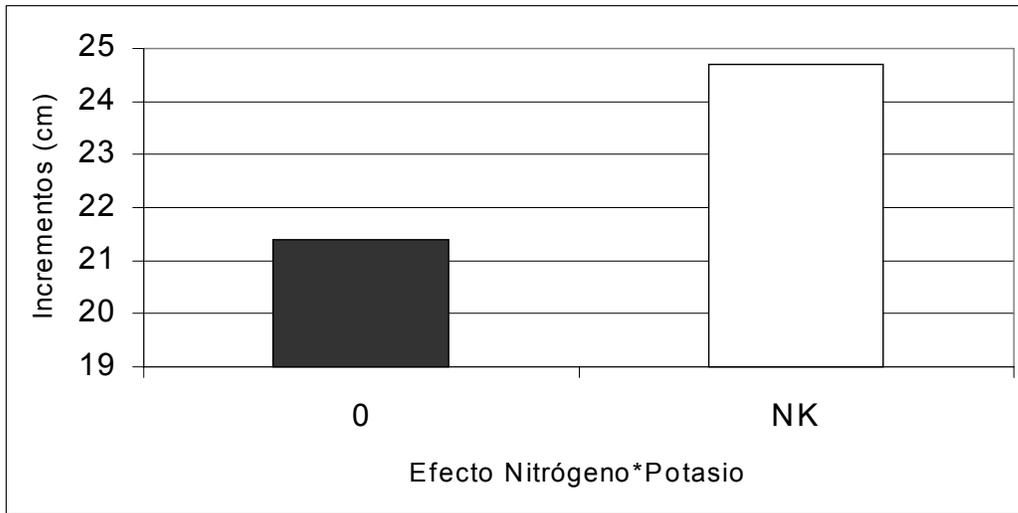


Figura 25. Efecto N*K en altura de planta (Ejutla).

P₂O₅-K₂O. La interacción PK fue estadísticamente significativa en las variables altura de planta en El Coyul y en diámetro de cogollo en Etlá (Cuadro 10A). En la comparación de los tratamientos, como la diferencia fue a favor del testigo, en ambos casos, se consideró que no hubo significancia. En el resto de los sitios y variables, tampoco se observó efecto para la interacción PK.

4.3.3. Efecto de la aplicación integrada de los tres elementos (N-P₂O₅-K₂O).

Los análisis de varianza de todos los sitios para la variable altura de planta se concentran en el Cuadro 11A del Apéndice. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para NPK solo en CEZ. Lo anterior indica que cuando no se aplicó fertilización química, los incrementos en altura de planta fueron de 14.6 cm, en tanto que con NPK fueron de 22.8 cm, teniéndose una superioridad del 56.1% sobre el testigo (Figura 26). La prueba de medias (Tukey 5%) no permitió separar tratamientos puesto que a todos los declaró estadísticamente iguales. Se calculó la prueba de medias (DMS 5%) lo que permitió separar dos tratamientos estadísticamente inferiores al resto, estos fueron T-1=0-0-0 y T-4=60-30 (Cuadro 17). Los valores expresados en (%) y comparados con el testigo, indicaron que todos los tratamientos de fertilización química (promedio 142.8%), superaron al testigo (100%).

La percepción general (incluyendo los demás sitios) de la interacción NPK observada a través de la variable altura de planta, mostró que esta interacción (representada por T-8= 60-30-40), con excepción de El Coyul, fue superior al testigo en el resto de los sitios. Camarón (111%), Etlá (107%), Ejutla (138%), Guelavila (235%) y CEZ con 156% (Cuadro 11A).

La concentración de los análisis de varianza en todos los sitios para la variable diámetro de planta, se presenta en el Cuadro 12A del Apéndice. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para esta interacción en Etlá. En la comparación de los tratamientos (DMS 5%), se tuvo que esta diferencia significativa fue a favor del testigo, por lo que se consideró sin efecto para la aplicación de NPK.

La concentración de los análisis de varianza de todos los sitios para la variable número de hojas nuevas, se presenta en el Cuadro 13A del Apéndice. No hubo significancia estadística para NPK. A nivel tendencia general, el tratamiento que representa los tres elementos T-8(60-30-40), también fue más consistente a través de todos los sitios, en promedio superó con un 18% al testigo.

La concentración de los análisis de varianza de todos los sitios para la variable longitud de cogollo se presenta en el Cuadro 14A del Apéndice. No se encontró significancia estadística para NPK. La tendencia general observada fue de que la interacción, superó en un 61% al testigo. Por sitios, con excepción de El Coyul y El Camarón, en el resto fue evidente esta tendencia: Etna (126%), Ejutla (157%), Guelavila (313%) y CEZ (190%). T-8 fue consistente a través de todos los sitios.

Cuadro 17. Análisis de varianza para las variables donde hubo significancia estadística para NPK.

No	Tratamientos			CEZ			Etna		
	N	P	K	Altura de planta			Diámetro de planta		
				Cm	Sig.	%	Cm	Sig.	%
1	0	0	0	14.6		100	28.2	a	100
2	60	0	0	22.4	a	153.4	17.1	a	60.6
3	0	30	0	21.3	a	145.8	8.0		28.3
4	60	30	0	15.0		102.7	16.6	a	58.8
5	0	0	40	20.9	a	143.1	22.0	a	78.0
6	60	0	40	21.5	a	147.2	16.5	a	58.5
7	0	30	40	22.1	a	151.3	25.3	a	89.7
8	60	30	40	22.8	a	156.1	13.6	a	48.2
Prom.				20.1			18.4		
CV				24.4			43.1		
Pr>F				0.37			0.00		
Rep				0.68			0.09		
N				0.79			0.08		
P				0.05 *			0.24		
N*P				0.05 *			0.50		
K				0.97			0.20		
N*K				0.66			0.07		
P*K				0.05 *			0.03 *		
N*P*K				7.2			18.8		
DMS									

La concentración de los análisis de varianza en todos los sitios para la variable diámetro de cogollo, se presenta en el Cuadro 15A del Apéndice. No se encontró significancia estadística para NPK. La tendencia general fue de que T-8 (60-30-40) superó al testigo en El Camarón (129%), Ejutla (123%), Guelavila (195%) y CEZ (333%), como promedio general, la interacción fue 82% superior al testigo.

Es interesante señalar que en El Coyul, con excepción del testigo, en el resto de los tratamientos los valores fueron negativos. Esto indicó que en el tiempo en que duro la investigación, el diámetro de cogollo ya no creció, sino por el contrario, disminuyó, lo cual coincide con lo citado anteriormente de que es una señal evidente de su aproximación a la madurez fisiológica. En este caso en particular, pareciera que la fertilización contribuyó a que las plantas alcanzaran su madurez más tempranamente en comparación con el testigo; esto coincidiría con lo observado por Carrión (1981) de que la fertilización adelantó la cosecha de fibra en henequén.

Como tendencia general, en resumen se puede decir que estos resultados con la interacción NPK, se aproximan a lo citado por Mendoza (1999) de que en agave tequilero las industrias recomiendan aplicar la fórmula combinada 30-20-20 en plantas de 1-3 años y la 60-30-30 en plantas de 3-6 años; reconociendo que falta mucha investigación para consolidar una dosis óptima.

4.3.4. Efecto de los tratamientos adicionales.

El análisis de varianza se realizó como diseño experimental bloques al azar con 12 tratamientos y cuatro repeticiones, según los resultados se encontraron diferencias estadísticamente significativas para las siguientes variables: altura de planta en Guelavila, diámetro de planta en Etlá, número de hojas nuevas y diámetro de cogollo en Guelavila (Cuadro 18).

Para diámetro de planta en Etlá, en este sitio como ya se indicó en el capítulo tercero, fue el único sitio en donde solo se tuvieron dos tratamientos adicionales T-9 y T-10; mismos que se ubicaron, según la prueba de medias (Tukey 5%), en el primer grupo de significancia estadística; sin embargo, el testigo también

se ubicó en ese grupo, por lo que prácticamente se consideró sin efecto (Cuadro 18).

Para altura de planta en Guelavila, los cuatro tratamientos adicionales fueron estadísticamente superiores al testigo (100%) promediando un valor de 172%, el único tratamiento que se quedó fuera de este primer grupo de significancia estadística fue el testigo (Figura 27).

El número de hojas nuevas en Guelavila, indicó que todos los tratamientos adicionales superaron al testigo (100%) con un valor promedio de 129%. Estos cuatro tratamientos se ubicaron dentro del primer grupo de significancia estadística (Figura 28).

Diámetro de cogollo en Guelavila indicó que los tratamientos adicionales fueron estadísticamente superiores al testigo (100%) promediando un valor de 162% (Figura 29).

Cuadro 18. Análisis de varianza como bloques al azar de los tratamientos adicionales de la fertilización química.

No. Trat	Tratamientos			Etila			Guelavila			Guelavila			Guelavila		
	N	P	K	Diámetro planta			Altura planta			Hojas nuevas			Diámetro cogollo		
				Cm	Sig.	%	cm	Sig.	%	cm	Sig.	%	cm	Sig.	%
1	0	0	0	28.2	a	100	12.7		100	17.7		100	1.72		100
2	60	0	0	17.1	a	61	19.6	a	154	22.4	a	126	2.37	a	138
3	0	30	0	8.0		28	15.2	a	120	17.3		98	2.07	a	120
4	60	30	0	16.6	a	59	23.5	a	185	25.9	a	146	2.60	a	151
5	0	0	40	22.0	a	78	14.2	a	112	16.2		91	1.80		105
6	60	0	40	16.5	a	58	17.0	a	134	21.8	a	123	2.90	a	169
7	0	30	40	25.3	a	90	17.2	a	135	19.9	a	112	2.20	a	128
8	60	30	40	13.6	a	48	29.9	a	235	26.3	a	148	3.35	a	195
9	80	30	60	29.4	a	104	22.2	a	175	24.6	a	139	2.52	a	146
10	40	15	20	20.5	a	73	21.4	a	168	24.2	a	137	2.75	a	160
11	20	20	20				20.9	a	164	18.4	a	104	2.70	a	157
12	80	60	80				23.0	a	181	24.3	a	137	3.22	a	187
Promedio				19.7			19.7			21.6			2.51		
C.V. (%)				40.4			34.3			16.1			23.3		
Pr>F Repetición				0.00 **			0.02 *			0.00 **			0.02 *		
Tratamiento				0.01 **			0.06 *			0.00 **			0.00 **		
Tukey 5%				19.4			16.8			8.6			1.46		

4.3.5. Efecto de la fertilización química en el contenido de N, P, K, azúcares y almidones en hojas de agave mezcalero.

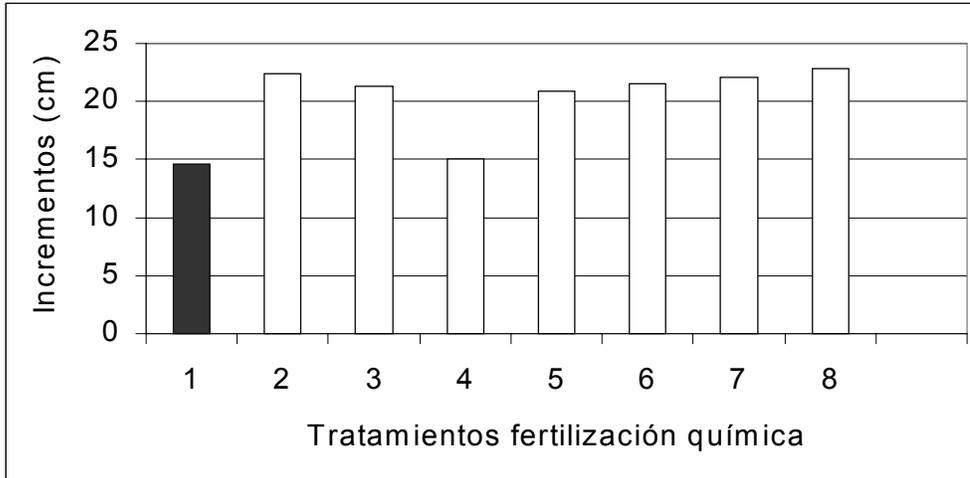


Figura 26. Efecto NPK en altura de planta (CEZ)

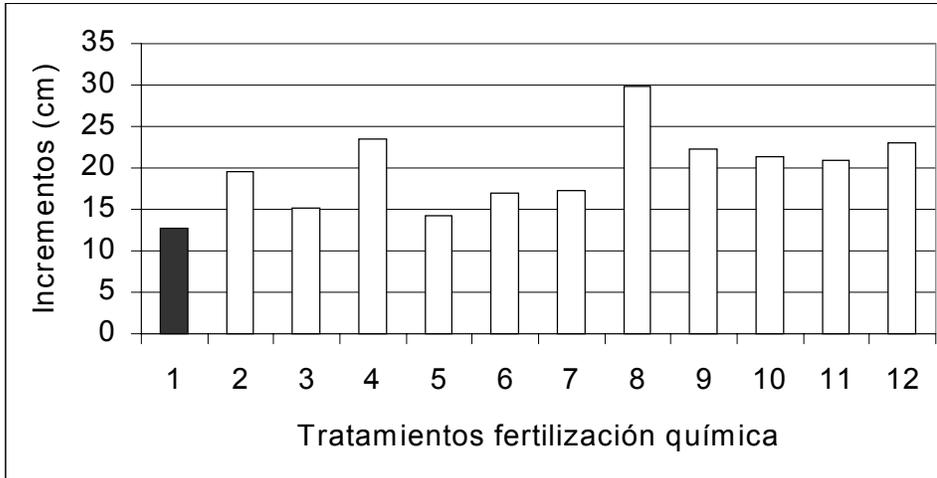


Figura 27. Tratamientos adicionales a la fertilización química.
 Altura de planta (Guelavila).

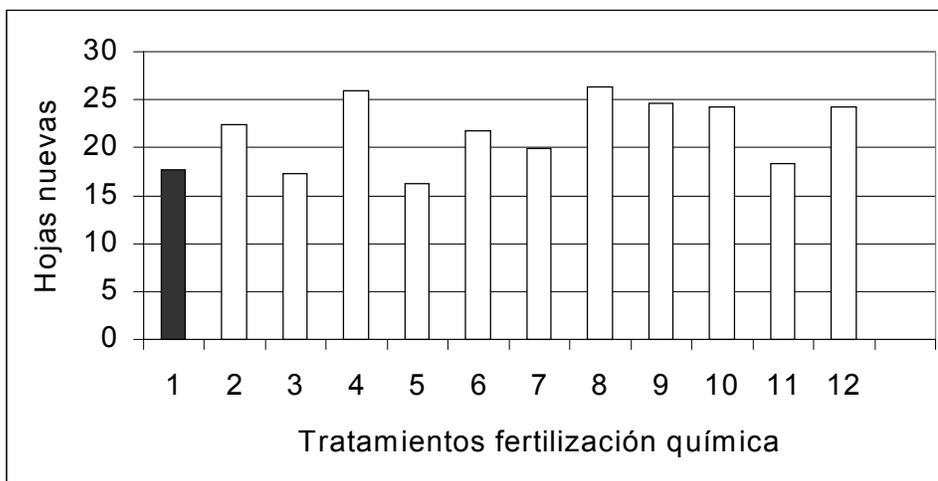


Figura 28. Tratamientos adicionales a la fertilización química en número de hojas nuevas (Guelavila).

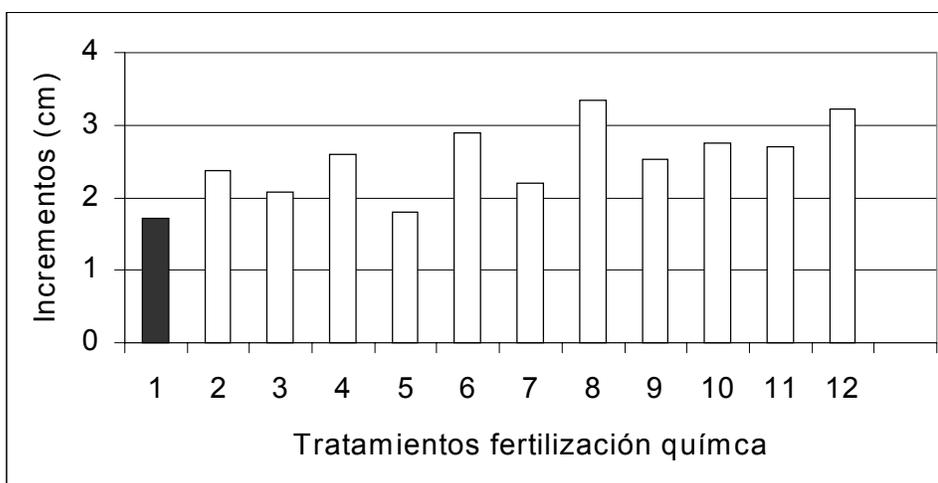


Figura 29. Tratamientos adicionales a la fertilización química en diámetro de cogollo (Guelavila).

Al observar el número de veces que estos tratamientos fueron estadísticamente superiores al testigo y excluyendo los resultados del sitio Etila, se concluye que los tratamientos adicionales confirmaron que la mejor respuesta se observó cuando participaron los tres elementos. La superioridad entre estos cuatro tratamientos, se inclinó ligeramente a favor de los de mayor dosis (T-9 y T-12).

Respecto al contenido de N (%) en las hojas de agave mezcalero en los tratamientos que llevaron fertilización química en El Coyul, no hubo diferencias al compararlos con los valores del testigo (Cuadro 19).

Para el contenido de Fósforo (%); solo dos tratamientos (T-3= 0-30-0 y T-8= 60-30-40) superaron al testigo. En general, para fósforo tampoco se observó una diferencia marcada a favor de la fertilización química (Cuadro 19).

Cuadro 19. Presencia de N, P, K, azúcares y almidones en la hoja del agave en el experimento de fertilización química del Coyul, Yautepec.

No. Trat	Tratamientos			Nitrógeno (%)		Fósforo (%)		Potasio (ppm)		Azúcares (%)		Almidones (%)	
	N	P	K	Valor	% rep. Testigo	Valor	% rep. Testigo	Valor	% rep. Testigo	Valor	% rep. testigo	Valor	% rep. testigo
1	0	0	0	0.77	100	0.49	100	105.0	100	6.32	100	1.32	100
2	60	0	0	0.79	102	0.42	86	110.0	105	12.41	196	1.46	111
3	0	30	0	0.75	97	0.52	106	110.0	105	16.95	268	1.32	100
4	60	30	0	0.78	101	0.39	79	110.0	105	11.83	187	1.38	104
5	0	0	40	0.73	95	0.32	65	110.0	105	13.47	213	1.48	112
6	60	0	40	0.78	101	0.33	67	113.0	108	7.13	113	1.52	115
7	0	30	40	0.61	79	0.31	63	111.5	106	12.01	190	1.37	104
8	60	30	40	0.72	93	0.55	112	113.5	108	8.04	127	1.46	111
Adicionales													
9	80	30	60	0.73	95	0.32	65	111.0	106	8.68	137	1.30	98
10	40	15	20	0.63	82	0.54	110	113.0	107	11.21	177	1.55	117
11	20	20	20	0.77	100	0.44	90	111.5	106	8.37	132	1.51	114
12	80	60	80	0.80	104	0.62	126	115.0	109	13.09	207	1.70	129

Análisis realizados en el laboratorio de Suelo y Planta del IPN-CIIDIR, Oaxaca.

Para Potasio (ppm), el testigo promedió 105.0 (100%) y fue superado por todos los tratamientos que llevaron fertilización química, que promediaron 111.1, lo que significó un 106% (Cuadro 19).

Para el contenido de azúcares; todos los tratamientos con fertilización química superaron al testigo que tuvo un valor de 6.32 (100%), en tanto que los tratamientos con fertilización promediaron 11.69 (185%). Fue evidente que la

aplicación de la fertilización química incidió directamente sobre la presencia de azúcares en las hojas del agave mezcalero (Cuadro 19).

Para el contenido de almidones; todos los tratamientos fueron superiores al testigo que obtuvo un valor de 1.32 (100%). Aunque en forma menos espectacular que en azúcares, la aplicación de la fertilización química, incidió sobre el contenido de almidones en la hoja del agave mezcalero (Cuadro 19).

Si se comparan los contenidos nutrimentales promedio presentes en hojas de diferentes especies vegetales cultivadas, con los resultados obtenidos en las hojas del agave mezcalero (N tuvo un valor promedio de 0.74 y P de 0.41) y de acuerdo con Alcantar y Sandoval (1999), quienes indican que valores menores a 1.7 para N y 0.2 para P, se consideran como niveles donde se manifestarán deficiencias agudas; es de suponerse que en agave mezcalero se tuvo una deficiencia fuerte para N. Con P aparentemente no hubo problema.

Referente a la presencia de N, P, K, azúcares y almidones en hojas de maguey en los tratamientos adicionales, los resultados indicaron que la presencia de N fue prácticamente igual testigo (100%), solo T-12 (80-60-80) lo superó en un 104% (Cuadro 19). El contenido de fósforo solo fue importante en dos tratamientos adicionales T-10 (110%) y T-12 (126%) (Cuadro 19). La presencia de potasio fue ligeramente mayor a favor de los tratamientos adicionales. La presencia de azúcares fue muy superior en los tratamientos adicionales respecto al testigo (100%), con un valor promedio de 163% (Cuadro 19). La presencia de almidones también fue mayor en los tratamientos adicionales, en promedio 114%.

4.3.6. Efecto de la fertilización química sobre el peso de piñas.

En el experimento de El Coyul; no hubo significancia estadística para la aplicación individual de los tres elementos de la fertilización química en la variable peso de piña (Cuadro 16A). A nivel de tendencia, se observó que con la aplicación individual de nitrógeno, el peso promedio de las piñas cosechadas fue de 57.8 kg (100%), contra 54.9 kg lo que representó un (105.2 %) a favor de la fertilización.

Para fósforo, la tendencia fue similar, cuando no se aplicó fertilización, el peso promedio de las piñas fue de 55.8 kg (100%), en tanto que con el fósforo fue de 56.8 Kg (101.7%).

Con potasio esta tendencia fue todavía más evidente; cuando no se aplicó, el peso promedio de las piñas fue de 51.7 kg (100%) y cuando llevó potasio este valor fue de 60.9 kg (117.7%).

Respecto al efecto de la aplicación de dos elementos; NP mostró una tendencia a favor de la interacción. Cuando no se fertilizó el peso promedio fue de 54.45 kg mientras que con la NP fue de 58.31 kg (107%). Para la interacción NK se observó significancia estadística al 5%, esto indicó que cuando no se aplicaron los dos componentes, el peso promedio de la piña fue de 39.5 kg (100%), en tanto que con la aplicación de NK, el peso promedio por piña fue de 51.72 kg (131%). PK observó una tendencia similar, sin fertilizante su peso promedio fue de 53.88 (100%) y con PK 64.13 kg (119%) (Cuadro 16A).

El análisis de varianza como triple interacción NPK indicó que no hubo significancia estadística para el peso de piñas (Cuadro 20). Con la prueba de separación de medias (DMS $\alpha=0.1$), fue posible identificar un grupo de significancia estadística con los tratamientos T-1 (0-30-0), T-2 (60-0-0), T-4 (60-30-0), T-6 (60-0-40) y T-7 (0-30-40).

Para el caso del experimento de fertilización química de El Camarón, el análisis de varianza no indicó significancia estadística para esta variable como efecto individual de N, P o K. El efecto conjunto de dos elementos de la fertilización química, tampoco fue significativo en ninguno de los casos NP, NK o PK (Cuadro 17A). De igual manera, el efecto de la triple interacción NPK no se vio reflejado en el peso de piña de este experimento. Para este caso particular, solo un tratamiento superó numéricamente al testigo (100%), T-3 (0-30-0) con 128% (Cuadro 20).

A manera de resumen se resalta lo siguiente: en El Coyul, el valor medio del experimento fue de 56.35 kg por piña, que referenciado a una población de 2666 plantas por hectárea, dio un rendimiento estimado de 150.2 ton/ha. La potencialidad de estos valores se puede ponderar tomando como referencia a

José (1995) que en un estudio para medir la eficiencia en la fijación de CO₂ de *Agave angustifolia* Haw en Matatlán Tlacolula, reportó un peso promedio por piña de 47.8 kg en plantas de ocho años de edad; en base a esta comparación se concluye que los rendimientos de este sitio (El Coyul) fueron altos. El efecto de la fertilización química sobre el peso de piña para el El Coyul fue de un 31.9% arriba del testigo. Según los análisis de varianza para peso de piña en El Coyul; todos los tratamientos adicionales fueron numéricamente superiores al testigo (Cuadro 20). Aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa por encontrarse todos estos tratamientos y el testigo, dentro del primer grupo de significancia estadística; sobresalieron T-9 (80-30-60) con 152%, T-11 (20-20-20) con 154% y T-12 (80-60-80) con 137% (Figura 30).

Cuadro 20. Análisis de varianza para peso de piña de los experimentos de fertilización química del distrito de Yautepec, Oax.

No. Trat.	Tratamientos			El Coyul				El Camarón			
	N	P	K	Kg	Sig.	%	Ton/ha	Kg	Sig.	%	Ton/ha
1	0	0	0	44.02	a	100	117.3	43.25	a	100	115.3
2	60	0	0	63.75	a	144.8	169.9	39.50	a	91	105.3
3	0	30	0	35.07		79.6	93.4	55.50	a	128	147.9
4	60	30	0	64.00	a	145.3	170.6	31.50		73	83.9
5	0	0	40	64.87	a	147.3	172.9	34.00	a	79	90.6
6	60	0	40	50.82	a	115.4	135.4	25.25		58	67.3
7	0	30	40	75.65	a	171.8	201.6	34.75	a	80	92.6
8	60	30	40	52.62	a	119.5	140.2	33.00		76	87.9
Promedio				56.35		131.9	150.2	37.0		83	98.6
CV				52.0				41.2			
Pr>F Rep				0.51				0.06			
N				0.78				0.09			
P				0.92				0.56			
N*P				0.99				0.54			
K				0.38				0.06			
N*K				0.05 *				0.43			
P*K				0.61				0.84			
N*P*K				0.66				0.22			
DMS (0.10)				35.7				22.47			
Adicionales											
9.	80-30-60			67.55		152		38.75		89	
10	40-15-20			46.30		104		49.75		115	
11	20-20-20			68.07		154		38.25		88	
12.	80-60-80			60.70		137		34.50		80	

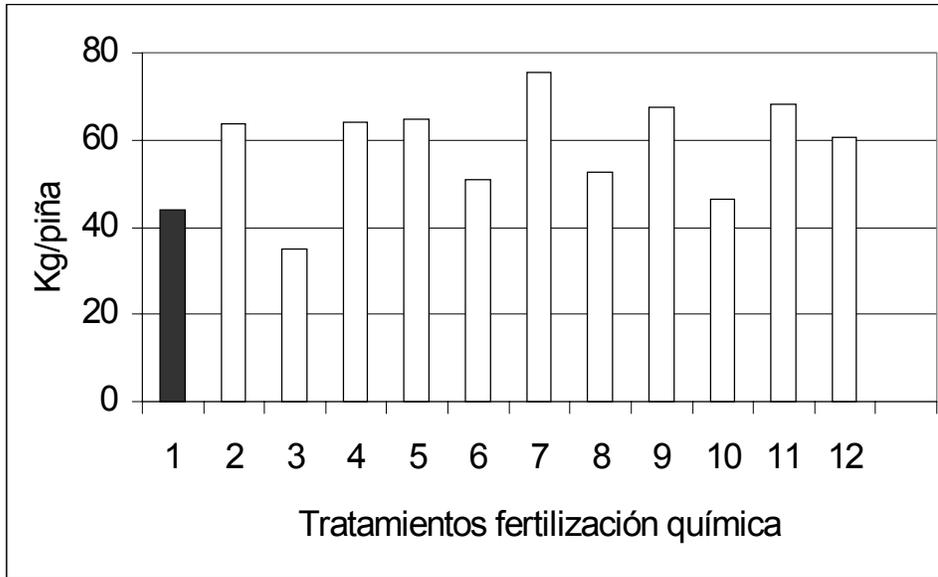


Figura 30. Efecto de la fertilización química en el peso de “piñas”.
El Coyul, Yautepec.

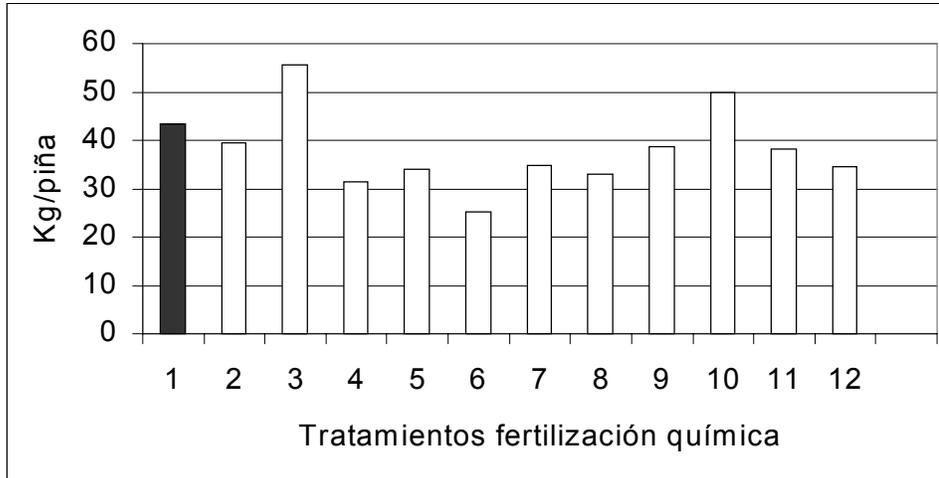


Figura 31. Efecto de la fertilización química en peso de “piñas”.
El Camarón Yautepec.

En el Camarón, con un año menos de edad de la plantación, se tuvo un peso promedio de 37.0 kg por piña, lo que significó un rendimiento medio de 98.6 ton/ha; tomando la misma referencia de José (1995); estos resultados también fueron altos, ya que hay una diferencia de tres años de edad con estas plantaciones y la diferencia en peso fue solo de 10kg. En El Camarón, solo un tratamiento (T-3) superó en un 28% al testigo con un peso promedio de piña de 55.5 kg (Figura 31).

La superioridad en ambos sitios de estos tratamientos (en promedio 30%), fue menor a lo reportado por Valenzuela y González (1995) en *A. tequilana*, en donde los mayores incrementos en peso se piña se lograron con el tratamiento 120-80-60, que a los 18 meses, duplicó el rendimiento del testigo en plantas de 2.5 años de edad.

En general, se puede concretar, que en El Coyul hubo respuesta a la aplicación de la fertilización química y de que en El Camarón, no se observó efecto de esta fertilización para la variable peso de piña.

4.3.7. Efecto de la fertilización química en el contenido de N, P, K, azúcares y almidones en piña de agave mezcalero.

Para el contenido de Nitrógeno (%) en la piña; con excepción de T-6 y T-7, todos los tratamientos superaron al testigo (0.480) 100%. La presencia de N fue más evidente en la piña que en la hoja de agave mezcalero (Cuadro 21 y Figura 32).

Para Fósforo; ninguno de los tratamientos con fertilización superó al testigo. En piña se observó que la presencia de P fue todavía ligeramente menor a la registrada en hoja (Cuadro 21 y Figura 33).

Para Potasio (ppm), ninguno de los tratamiento superó al testigo que obtuvo un valor de 113.5 (100%), contra 111.7 (98.4%) de los tratamientos con fertilización. Aquí se observó una situación diferente a lo registrado en hojas; en los análisis de piña, el potasio en los tratamientos de fertilización química estuvo muy inferior al testigo (Cuadro 21).

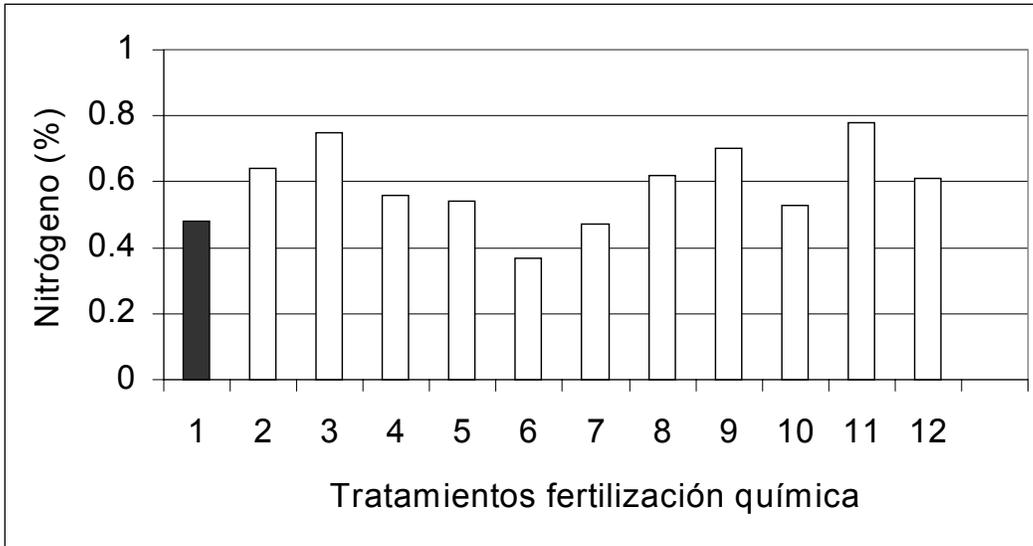


Figura 32. Contenidos de Nitrógeno en “piñas” de agave mezcalero. El Coyul, Yautepec.

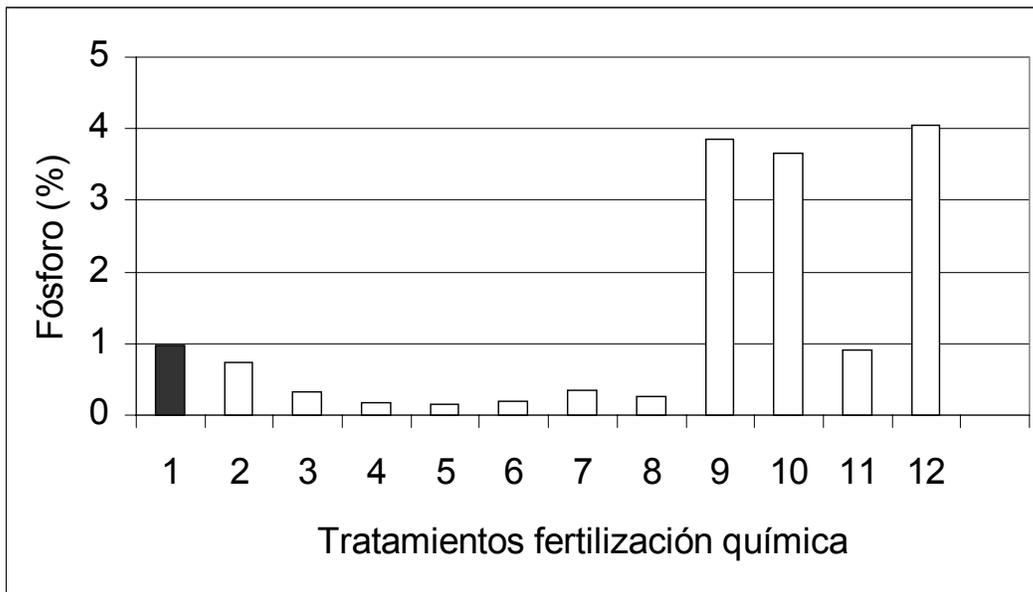


Figura 33. Contenidos de Fósforo en “piñas” de agave mezcalero. El Coyul, Yautepec.

Para el contenido de azúcares; con excepción de T-4, todos los tratamientos con fertilización química superaron al testigo. Aunque menos espectacular que en hojas, sigue habiendo una fuerte diferencia a favor de los tratamientos de fertilización química (Figura 34).

Cuadro 21. Presencia de N, P, K, azúcares y almidones en piña del agave mezcalero del experimento de fertilización química del Coyul, Yautepec.

No. Trat	Tratamientos			N (%)		P (%)		K (ppm)		Azúcares (%)		Almidones (%)	
	N	P	K	Valor	% resp. Testigo	Valor	% resp. Testigo	Valor	% resp. Testigo	Valor	% resp. Testigo	Valor	% resp. Testigo
1	0	0	0	0.48	100	0.97	100	113.5	100	20.47	100	1.70	100
2	60	0	0	0.64	133	0.73	75	112.5	99	27.88	136	2.08	122
3	0	30	0	0.75	156	0.32	33	112.0	99	30.76	150	2.09	123
4	60	30	0	0.56	117	0.17	17	111.5	98	16.15	79	1.85	109
5	0	0	40	0.54	112	0.16	16	112.5	99	33.30	163	2.00	118
6	60	0	40	0.37	77	0.20	21	111.5	98	23.18	113	1.79	105
7	0	30	40	0.47	98	0.34	35	112.5	99	26.51	129	2.03	119
8	60	30	40	0.62	129	0.25	26	110.0	97	37.95	185	1.92	113
Adicionales													
9	80	30	60	0.70	146	3.86	398	110.0	97	30.06	147	2.05	120
10	40	15	20	0.53	110	3.66	377	109.5	96	18.22	89	1.78	105
11	20	20	20	0.78	162	0.91	94	112.0	99	18.78	92	1.69	99
12	80	60	80	0.61	127	4.05	417	110.0	97	34.25	167	2.15	126

Análisis realizados en el laboratorio de Suelo y Planta del IPN-CIIDIR, Oaxaca.

Para almidones; el valor promedio de los tratamientos con fertilización fue de 1.96 (115.2%), en tanto que el testigo promedió 1.70 (100%), conservándose en piña, la misma diferencia observada en hojas (Figura 35).

La presencia de N en los tratamientos adicionales superó al testigo. La presencia de P indicó que tres tratamientos fueron sobresalientes en comparación con el testigo (100%), T-9 (80-30-60), T-10 (40-15-20) con 377% y T-12 (80-60-80) con 417% (Cuadro 21). La presencia de azúcares fue muy superior (124%) con respecto al testigo (100%). La presencia de almidones también fue mayor en los tratamientos adicionales (112%) con respecto al testigo.

4.3.8. Interrelación entre las variables de crecimiento y el peso de piñas.

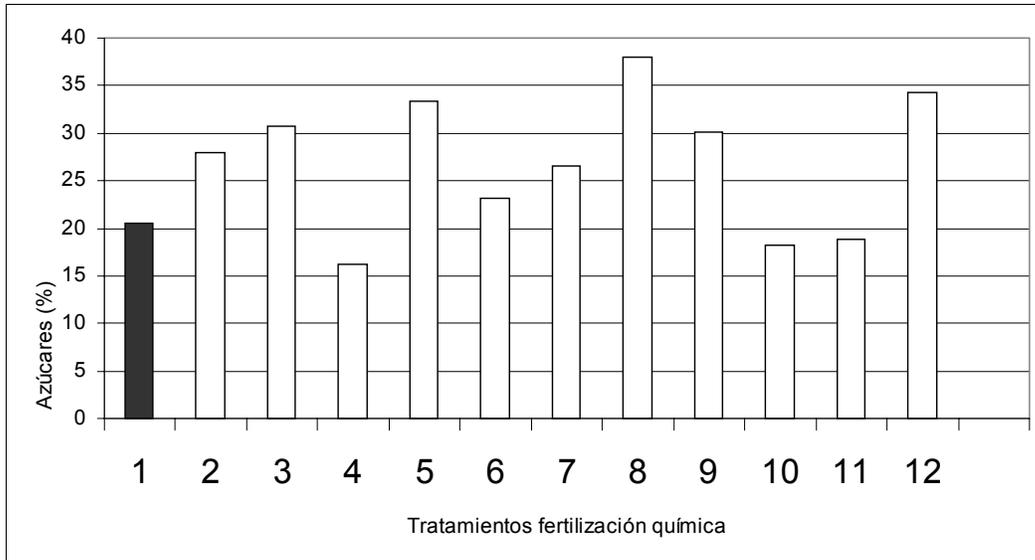


Figura 34. Contenidos de azúcares en “piñas” de agave mezcalero.
El Coyul, Yautepec.

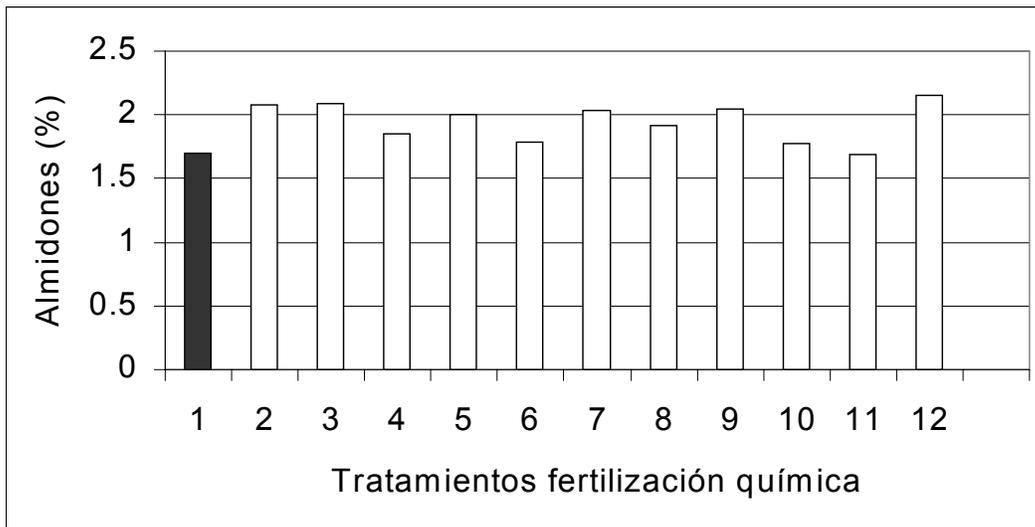


Figura 35. Contenidos de almidones en “piñas” de agave mezcalero.
El Coyul, Yautepec.

Se corrió un análisis de regresión múltiple con las variables analizadas del experimento de fertilización química de El Coyul, Yautepec. Las variables analizadas fueron: X1= Altura de planta. X2= Diámetro de planta. X3= Número de hojas nuevas. X4= Longitud de cogollo. X5= Diámetro de cogollo. X6= Contenido de N en la hoja. X7= Contenido de P en la hoja. X8= Contenido de K en la hoja. X9= Contenido de azúcares en la hoja. X10= contenido de almidones en la hoja. X11= Contenido de N en piña. X12= Contenido de P en piña. X13= Contenido de Azúcares en piña. X14= Contenido de almidones en piña. Y= Peso de piña.

Observando el cuadro de correlaciones (Cuadro 22) se pudo observar que: Altura de planta correlacionó positiva y significativamente con diámetro de cogollo. Otra correlación positiva y significativa fue entre diámetro de planta y contenido de azúcares en la hoja. Número de hojas nuevas por planta correlacionó positivamente con contenidos de almidón en la hoja y con contenido de nitrógeno en la piña.

Longitud de cogollo correlacionó positivamente con contenido de almidón en la hoja.

Contenido de potasio en la hoja, correlacionó negativamente con contenido de nitrógeno en la piña y con contenido de azúcar en la piña.

La variable contenido de almidón en la hoja correlacionó negativamente con el contenido de nitrógeno en la piña.

El contenido de fósforo en la piña correlacionó positivamente con el peso de piña (Y). Contenido de almidón en la piña también correlacionó positivamente con el peso de piña.

Se corrió un análisis de regresión múltiple con las variables analizadas para el experimento de fertilización química de El Camarón, Yautepec; las variables analizadas fueron:

X1= Altura de planta. X2= Diámetro de planta. X3= Número de hojas nuevas. X4= Longitud de cogollo. X5= Diámetro de cogollo. Y= Peso de piña.

La matriz de correlación obtenida (Cuadro 23) indicó que diámetro de planta (X2) correlacionó negativa y significativamente con diámetro de cogollo (X5). Diámetro

de planta también correlacionó positiva y significativamente con el peso de piña (Y).

Cuadro 22. Regresión múltiple de las variables del experimento de fertilización química del Coyul, Yautepec.

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	Y
X1	1	0.10 0.75	0.50 0.09	0.28 0.37	0.70 0.01	-0.40 0.19	0.17 0.59	-0.32 0.29	-0.18 0.55	0.33 0.29	-0.00 0.99	-0.50 0.09	-0.32 0.30	-0.32 0.30	-0.36 0.24
X2		1	0.29 0.35	0.29 0.34	0.09 0.77	-0.08 0.79	0.13 0.68	0.10 0.75	0.80 0.00	0.40 0.18	-0.29 0.35	0.11 0.71	-0.08 0.79	-0.22 0.47	-0.02 0.94
X3			1	0.46 0.12	0.35 0.26	-0.28 0.37	-0.11 0.72	0.23 0.45	-0.02 0.94	0.59 0.04	-0.60 0.03	-0.43 0.16	-0.20 0.52	-0.13 0.67	-0.09 0.75
X4				1	-0.10 0.74	0.06 0.84	0.21 0.50	0.45 0.13	0.10 0.74	0.61 0.03	-0.37 0.22	-0.38 0.21	0.47 0.11	0.00 0.98	-0.10 0.73
X5					1	-0.17 0.59	0.20 0.52	-0.38 0.22	-0.07 0.82	0.01 0.95	0.05 0.86	-0.21 0.50	-0.54 0.06	-0.28 0.37	-0.17 0.58
X6						1	0.16 0.60	-0.15 0.62	0.23 0.46	-0.10 0.74	0.19 0.55	-0.08 0.78	0.15 0.62	0.04 0.90	0.01 0.97
X7							1	0.24 0.44	0.29 0.35	0.36 0.24	-0.38 0.21	0.14 0.66	0.43 0.15	0.17 0.57	0.02 0.93
X8								1	0.04 0.88	0.36 0.24	-0.76 0.00	0.12 0.70	0.70 0.01	0.33 0.28	0.28 0.36
X9									1	0.18 0.56	-0.16 0.60	0.31 0.31	-0.11 0.73	0.21 0.49	0.26 0.40
X10										1	-0.68 0.01	-0.02 0.94	0.35 0.25	0.05 0.86	0.20 0.52
X11											1	0.03 0.91	-0.42 0.16	-0.23 0.46	-0.16 0.60
X12												1	0.05 0.87	0.28 0.37	0.68 0.01
X13													1	0.12 0.69	0.03 0.90
X14														1	0.72 0.00
Y															1

Cuadro 23. Coeficientes de correlación de las variables del experimento de fertilización química del Camarón, Yautepec.

	X1	X2	X3	X4	X5	Y
X1	1	0.45 0.13	0.16 0.60	0.05 0.85	-0.21 0.43	0.30 0.33
X2		1	0.10 0.75	0.26 0.39	-0.69 0.01	0.56 0.05
X3			1	-0.48 0.11	-0.27 0.39	0.33 0.28
X4				1	-0.09 0.76	-0.18 0.57
X5					1	-0.47 0.11
Y						1

4.3.9. Análisis económico de los tratamientos de la fertilización química

El procedimiento fue similar al empleado para el análisis económico de la fertilización orgánica: definiendo los “Costos que Varían” para cada uno de los tratamientos (Cuadro 24). Enseguida se obtuvo el rendimiento promedio por hectárea con los pesos de piña cosechados de El Coyul y El Camarón. Estos rendimientos se ajustaron por un factor (0.8); el “valor de la cosecha” se calculó tomando como referencia que una tonelada de piña vale \$ 3 333 más el valor por contenidos de azúcares (según los resultados de los análisis del laboratorio en piñas), considerándose solo aquellos que superaron al testigo. De igual manera que en la fertilización orgánica, se calcularon los “beneficios brutos”, “beneficios netos” y el “análisis de dominancia”.

Cuadro 24. Presupuesto parcial de los tratamientos de fertilización química

No. Trat.	Tratamientos	Total costos que varían	Rend. Ajustado	Bonificación por azúcar (10%)	Beneficios brutos más azúcar	Beneficios netos
1	0 - 0 - 0	0	93.04	0.00	310,102.32	310,102.32
2	60 - 0 - 0	1,220	110.08	15,538.89	382,435.53	381,215.53
3	0 - 30 - 0	460	96.56	18,927.69	340,762.17	340,302.17
4	60 - 30 - 0	1,480	101.60	0	338,632.80	337,152.80
5	0 - 0 - 40	648	105.36	25,751.03	376,915.91	376,267.91
6	60 - 0 - 40	1,668	81.04	4,183.28	274,289.60	272,621.60
7	0 - 30 - 40	908	117.68	13,540.26	405,767.70	404,859.70
8	60 - 30 - 40	1,928	91.28	30,396.24	334,632.48	332,704.48
9	80 - 30 - 60	2,424	113.35	20,707.91	398,503.46	396,079.46
10	40 - 15 - 20	1,300	102.42	0.00	341,365.86	340,065.86
11	20 - 20 - 20	868	113.37	0.00	377,862.21	376,994.21
12	80 - 60 - 80	2,908	101.52	26,650.01	365,016.17	362,108.17

Las tasas marginales de retorno, para la fertilización química se obtienen de dividir el “cambio en beneficio neto” entre el cambio de los “costos que varían”. El paso siguiente fue determinar la “tasa mínima de retorno” que el agricultor aceptaría para cambiar tratamientos. Para aplicar la tecnología de fertilización se requieren de \$ 1,000 durante dos años, con una tasa de interés anual del 20% más los gastos por comisión \$50 y los gastos para tramites \$100. De esta forma $\$1000 * 0.2 = \$ 200$ de interés al año, por 2 años son \$ 400, más la comisión y los gastos por tramites dan un total de \$550 del préstamo, que dividido entre la cantidad solicitada $550/1000=55\%$ que significa el costo de capital por la duración del préstamo. Por concepto de manejo se aplica un 20% al costo del capital,

obteniéndose una Tasa Mínima de Retorno de $55\% + 20\% = 75\%$

Los resultados indicaron que cuatro tratamientos fueron mejores económicamente en relación con el testigo: T-3 (0-30-0), T-5 (0-0-40), T-7(0-30-40) y T-11= 20-20-20 (Cuadro 25).

Cuadro 25. Tasas marginales de retorno para los tratamientos de fertilización química.

No. Trat.	Tratamiento	Beneficio Neto (\$)	Costos que Varían	Análisis de dominancia	Tasa Marginal Retorno (%)
7	0-30-40	404,859.70	908		69,663
9	80-30-60	396,079.46	2424	D	
2	60- 0 - 0	381,215.53	1220	D	
11	20-20-20	376,994.21	868		330
5	0- 0-40	376,267.91	648		19,130
12	80-60-80	362,108.17	2908	D	
3	0-30- 0	340,302.17	460		6,565
10	40-15-20	340,065.86	1300	D	
4	60-30- 0	337,152.80	1480	D	
8	60-30-40	332,704.48	1928	D	
1	0 - 0- 0	310,102.32	0		
6	60 - 0-40	272,621.60	1668	D	

Con T-3, el productor invierte \$460 en fertilizantes, adicionales al sistema tradicional del cultivo, y obtiene un beneficio neto de \$340,302. De acuerdo a los componentes del tratamiento, este beneficio económico sería atribuible a la aplicación de fósforo.

Con T-5, el productor invierte \$648 y obtiene un beneficio neto de \$376,267. Según los componentes de este tratamiento, este beneficio económico se deberá a la aplicación de potasio.

Con T-7, el productor invierte \$908 y obtiene un beneficio neto de \$ 404,859. De acuerdo a los componentes del tratamiento, este beneficio económico será atribuible a la interacción PK.

Con T-11, el productor invierte \$ 868 y obtiene un beneficio neto de \$ 376,994. Es un tratamiento que combina los tres elementos de la fertilización química (NPK) y si se toma en cuenta que los suelos donde se cultiva agave

mezcalero son pobres en estos elementos; entonces este tratamiento es económica y técnicamente importante para su consideración.

Hay que señalar que estos análisis económicos fueron realizados para los dos últimos años del ciclo del agave mezcalero; por lo que los valores obtenidos, responden a este periodo. Esta es una de las posibles razones que explican las altas ganancias económicas. Un análisis completo es aquel que incluya los costos de cultivo durante todo el proceso del mismo (7-10 años).

Para productores de materia prima de agave mezcalero (que se caracterizan dentro de una economía campesina), es probable que los tratamientos de fertilización más atractivos serán los menos insumistas para su posible adopción y utilización. A este respecto es interesante citar a Quiroz (1999), que de un análisis de la cadena productiva maguey-mezcal realizado en 1997, con 1500 magueyes por hectárea con ciclo de producción de 7 años, a un precio de venta de \$ 2100 por camioneta de 3 toneladas de maguey, con una tasa interna de retorno de 24.13%, se obtuvo un ingreso neto de \$11,249, lo que significó un ingreso anual de \$1,607 por hectárea. En base a lo anterior, concluyó que el cultivo de maguey para el campesino oaxaqueño viene a ser, más que un negocio como tal, una especie de “guardadito” ó ahorro.

Para productores con la posibilidad de disponer de mayores recursos financieros, con una explotación tecnificada y comercial del agave mezcalero; algunos tratamientos de fertilización, pueden resultar interesantes debido a los altos beneficios aquí reportados. Hay que recordar que de 1996-1998 el precio del agave tequilero era muy barato: \$ 0.79-0.85/kg (Valenzuela, 2000). En 1999 se pagó a \$ 4.50; ese mismo año (julio) a \$ 14.00; y en agosto se fijó un precio de referencia de \$ 9.00 para mantenerlo en ese nivel hasta el 2002; y a partir de 2003 reducirlo a \$ 5.00 (SAGAR-ASERCA, 2000). El precio actual del agave mezcalero en Oaxaca se ubica en un rango de \$ 2.60-4.00/kilo, todavía muy inferior al precio de Jalisco. Se espera que estos altos precios se mantengan dada la escasez de materia prima tanto para la industria tequilera como la mezcalera, además de los actuales precios de estas bebidas.

La perspectiva de un escenario favorable a los productores de agave tequilero que describe SAGAR-ASERCA (2000), y que puede servir también como ejemplo para la producción de agave mezcalero en Oaxaca, es la siguiente: con un precio de \$ 10/kilo de materia prima, y un rendimiento de 200 toneladas por hectárea, se obtendría un ingreso bruto de dos millones de pesos, que distribuidos en ocho años arrojaría un total de 250 mil pesos por año. Si los costos de producción representaran la mitad, se tendrá un ingreso neto de 125 mil pesos, es decir poco más de 10 mil pesos mensuales. Si el precio de la materia prima fuese de \$ 5.00 kilo, la cantidad obtenida por el productor sería la mitad de la anterior, es decir, cinco mil pesos mensuales. Ambas situaciones seguirían siendo atractivas para el productor de agave mezcalero de Oaxaca.

4.4. Características del clima.

La información del clima corresponde a las casetas climatológicas más cercanas a los sitios experimentales. En el Cuadro 18A del apéndice, se presenta la lluvia ocurrida durante el desarrollo del presente trabajo (1999 y 2000), así como su normal climática (N). La primera información la proporcionó la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la segunda se obtuvo de la clasificación climática de García (1973). Lo que normalmente ocurre es que el periodo de lluvias es de seis meses, claramente marcados de mayo a octubre, donde se capta más del 90 % de precipitación total. En agosto se presenta una sequía intraestival.

De acuerdo a lo que normalmente se esperaría que lloviera (619 mm) para el área de estudio; el año de 1999 se consideró normal (660 mm); en tanto que en 2000, hubo ligeramente menos lluvia (575) y una errática distribución. Aparentemente esta disminución de lluvia no se manifestó en el crecimiento del agave mezcalero, en tanto que en los cultivos básicos (principalmente maíz), hubo fuerte disminución de los rendimientos y hasta pérdida de cosechas.

Por las características fisiológicas del agave mezcalero para desarrollar aún en condiciones adversas, se supone que la disponibilidad de humedad no fue un

factor limitante en el aprovechamiento de los fertilizantes aplicados. Por sitios, Tlacolula fue la estación más seca y Ejutla la más lluviosa; ambas situaciones aparentemente tampoco se reflejaron de manera particular en los resultados obtenidos.

La información sobre lo que normalmente ocurre con la temperatura media mensual (Cuadro 19A), permite apreciar que: en noviembre empieza a descender la temperatura, siendo diciembre, enero y febrero los meses más fríos. Las temperaturas más altas son el abril y mayo (20.3-27.9°C).

Los sitios más calurosos correspondieron a El Camarón y El Coyul del distrito de Yautepec; aparentemente no se tuvieron temperaturas fuera de lo normal que pudieran haber incidido sobre el crecimiento del agave mezcalero.

El número de hojas nuevas dividido entre el número de meses que duró la investigación, da un índice de crecimiento del agave mezcalero; este índice para Valles Centrales fue en promedio de 1.3 hojas/mes y para Yautepec de 3.2 hojas/mes. José (1995) en *Agave angustifolia* Haw con plantas de 4 y 8 de edad en Santiago Matatlan, Oaxaca de la región de Valles Centrales; reportó 1.8 hojas desplegadas/mes, valor muy cercano al obtenido en este estudio en los Valles Centrales. Fue evidente que en Yautepec se tuvo casi el doble de crecimiento. Esta diferenciación de crecimiento se atribuye principalmente a que en Yautepec se tienen temperaturas medias mensuales más altas que en el valle.

Los resultados obtenidos durante el presente estudio, indicaron que en Yautepec, se obtuvo un incremento promedio de 29.6 cm para altura de planta, 58.3 cm para diámetro de planta y 46.6 hojas nuevas; en tanto que en Valles Centrales, José en 1995, con plantas de cuatro años de edad (que serían las más parecidas con las del Coyul y Camarón), obtuvo valores de 26.7, 29.1, y 21.6 respectivamente, de donde se desprende que diámetro de planta y número de hojas nuevas duplicaron su producción en Yautepec en comparación con el Valle; estos resultados fortalecen que en Yautepec, el crecimiento de los agaves es más rápido, debido en parte, a temperaturas más cálidas.

V. CONCLUSIONES

1. La respuesta a la fertilización orgánica, fue más evidente cuando se aplicaron conjuntamente al menos dos componentes, y se reflejó con una superioridad promedio de un 27% sobre el testigo absoluto en todas las variables de crecimiento analizadas.
2. Los tratamientos de la fertilización orgánica que produjeron los incrementos más altos y consistentes fueron: T-7 y T-8, además de los tratamientos adicionales T-9 y T-10, que confirmaron que la mejor respuesta fue debida a efectos conjuntos. *Azospirillum* y Lombriabono en aplicación individual, influyeron positivamente sobre el crecimiento del agave mezcalero por lo que en estudios futuros deberán ser considerados como elementos importantes en la fertilización orgánica.
3. La fertilización orgánica incidió en una mayor presencia de fósforo y azúcares (entre un 150 a 200%) en hojas de agave mezcalero. Los tratamientos adicionales corroboraron que con la fertilización conjunta, hubo mayor presencia de estos elementos.
4. En El Coyul, hubo una clara tendencia de un mayor peso de piña (promedio de 45.7 kg) a favor de los tratamientos con fertilización orgánica (19% sobre el testigo). En El Camarón, la tendencia fue menos evidente, solo el T-6 con un peso de 64.75 kg superó en un 8% al testigo. Los tratamientos adicionales T-9 y T-10 lo superaron en un 12%.

5. Hubo tres tratamientos de la fertilización orgánica que coincidieron en la respuesta técnica y la económica: T-6 (3-0-5); T-10 (1.5-0.5-10+40-20-20); y T-4 (3-1-0), con tasas marginales de retorno lo suficientemente amplias para invertir en esta práctica de la fertilización orgánica. T-12 (lombriabono), fue el único de aplicación individual (por ser un tratamiento adicional) que resultó sobresaliente.
6. El efecto individual del nitrógeno fue estadísticamente evidente en Guelavila en el crecimiento del agave mezcalero (48% sobre el testigo) y las variables que mejor ayudaron a observar esta respuesta fueron: altura de planta, hojas nuevas, longitud de cogollo y diámetro de cogollo. Fósforo influyó en un 34.5% en solo un sitio (Guelavila). Potasio en un 19% también en un solo sitio (CEZ). NP fue la única interacción doble significativa en CEZ con incrementos de un 17.5%. En una sola ocasión la interacción NPK fue estadísticamente significativa (CEZ) con incrementos de un 56%.
7. Como tendencia general, los tratamientos de fertilización química con mayores incrementos en el crecimiento de agave mezcalero fueron, T-8 con 38%, T-6 con 20% y T-3 con 19%. El más consistente fue T-8. Los tratamientos adicionales T-9, T-10, T-11 y T-12, con significancia estadística en su respuesta (42% sobre el testigo), fortalecen la hipótesis de que los mejores resultados se obtienen cuando participan los tres elementos.
8. Hubo una mayor presencia para K (106%); azúcares (185%) y almidones (108%) en hojas de agave mezcalero a favor de los tratamientos con fertilización química. En tanto que en los tratamientos adicionales, además de confirmar estos resultados, dieron indicios de N (104%) y P(118%).
9. Como tendencia general, el efecto de la fertilización química sobre el peso de piña fue de un 31.9% arriba del testigo en El Coyul, con un peso promedio de

piña de 58.1 kg. En El Camarón, solo un tratamiento (T-3) superó en un 28% al testigo con un peso promedio de piña de 55.5 kg. El promedio general de los tratamientos de fertilización química fue de 36.2 kg/piña.

En El Coyul, todos los tratamientos adicionales fueron numéricamente superiores al testigo: T-9 con 152%, T-10 con 104%, T-11 con 154% y T-12 con 137%.

10. El efecto de la fertilización química en la piña de agave mezcalero fue el siguiente: Nitrógeno 117.5% con respecto al testigo (100%); azúcares (136.6%) y almidones (115.3%).

11. Cuatro tratamientos fueron económicamente superiores al testigo: T-3 (0-30-0); T-5 (0-0-40); T-7 (0-30-40), y T-11 (20-20-20), con tasas mínimas de retorno lo suficientemente amplias para invertir en la fertilización química. El último tratamiento combina una buena ganancia con la sugerencia de una fertilización combinada.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. Abencerraje, R. F. 1986. Apuntes del curso de manejo del suelo y agua. VIII semestre de la especialidad de suelos. Nivel licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coah. México. (Documento mecanografiado).
2. Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. Terra. Vol. 17No.3. 1999. p:212.
3. Alcántara, G.G. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 156p.
4. Allier-González, A., González-Bautista, O., Fernández-Gómez, S., Maldonado-Núñez, M. y Toledo-Flores, J. 1998. Optimización de la tecnología y producción artesanal del mezcal. Memoria foro estatal de investigación científica y tecnológica 1998. 26-27 noviembre. SIBEJ-CONACYT. Oaxaca. p:28-29.
5. Barois, B. I. 1995. El enfoque funcional de la biodiversidad del suelo. Memoria XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tamaulipas, México. p-107.
6. Buckman, Laboratories. BuRIZE. 2001. Hongos formadores de micorrizas vesículo arbusculares para postfumigación y agricultura orgánica. Buckman Laboratories, Inc. Boletín No. BUR.1/0/01.
7. Bashan, Y., Holguin, G y Ferrera-Cerrato, R. 1996. Interacciones entre plantas y microorganismos benéficos. I. *Azospirillum*. TERRA. Num. 2. Vol. 14. p:159-194.
8. Berlanga, R.C.A. 1998. Evaluación de poblaciones naturales de lechuguilla. Tecnologías Llave en Mano. División Forestal. SAGAR. INIFAP p: 219-220.

9. Bustamante, M. E. I. 1983. Estudio agro ecológico de los agaves de la zona de influencia a Tequila, Jalisco. Tesis de licenciatura. UNAM-Iztacala, México. 165 p.
10. Cano, G. M. A., Arredondo, V. C., Aragón, C. F. y Galomo, R.T. 1998. Areas potenciales para el cultivo del maíz de temporal en el estado de Oaxaca. SARH-INIFAP. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. Documento interno de trabajo. 18 p.
11. Carrión, M. and Vinent, E. 1986. Diferentes niveles de nitrógeno en henequén. Efecto sobre el crecimiento y rendimiento. Reporte de Investigación del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical. Academia de Ciencias de Cuba. 1986 . No. 35. 7 p.
12. Carrión, R. M. 1981. Efecto de las aplicaciones de nitrógeno sobre la duración del ciclo productivo del henequén (*Agave fourcroydes*). Agrotecnia de Cuba. 1981. 13:2. p:45-49.
13. Claverán, A. R. 1996. Perspectivas de la investigación para la producción orgánica. In: Primer Foro Nacional Sobre Agricultura Orgánica. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. CONARAO. SAGAR. México. p:2-4.
14. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) 1997. Los magueyes, plantas de infinitos usos. [Http://www.conabio.gob.mx/textos/agave.htm](http://www.conabio.gob.mx/textos/agave.htm). 12/14/97.
15. _____. 1998. La Diversidad Biológica de México. Estudio del País. 1998.
16. Consejo Regulador del Tequila, A. C. 1999. Avances de la Investigación del *Agave tequilana* Weber var. Azul. In: Plantaciones Modernas AGROSEM. Año 4 No. 4 Oct-Dic. 1995. Guadalajara, Jalisco. México. p: 19-22.
17. Cooke, G. W. 1983. Fertilización para rendimientos máximos. Editorial C.E.C.S.A. Primera edición. México. 373 p.
18. _____. 1987. Fertilizantes y sus usos. Editorial C.E.C.S.A. Duodécima impresión. México. 176 p.
19. Diario Oficial de la Federación, 1997. Norma Mexicana NOM-070-SCFI-1994, Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. Tomo DXXV. No.9. México, D. F. Jueves 12 de junio de 1997. p:30-39.

20. Etchevers, B. J. D. 1998. Técnica de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. In: 1er Simposio Nacional Sobre Nutrición de Cultivos. Nutrir para Competir. Tecnológico de Monterrey, campus Querétaro. p-13.
21. _____. 1999. Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. TERRA. No. 3. Vol. 17. p:209-219.
22. Farias-Larios, J., Bayardo-Vizcaíno, L. A., López-Aguirre, J., Michel, A. y Tena-Sagrero, A. 1998. Efecto de la aplicación de composta sobre la fertilidad del suelo. XXIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. 1997-1998. 204 p.
23. Ferrera-Cerrato, R. 1995. Efecto de la rizosfera. In. Agro climatología. Elemento útil en la agricultura sustentable. R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez-Moreno (eds.). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo. Estado de México. p:36-53.
24. _____, y Santamaria, R. S. 1996. La biotransformación de la materia orgánica y el uso de microorganismos en la agricultura. In: Primer Foro Nacional Sobre Agricultura Orgánica. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. CONARAO. SAGAR. México. p:7-22.
25. Foth, H. D., Turk, L. M. y Millar, C. E. 1975. Fundamentos de la ciencia del suelo. Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional. Editorial C.E.C.S.A. Primera edición. México. 513p.
26. Galvis, S. A., Etchevers, J. D., Arjona, S. E., Álvarez, S. E. 1995. Recomendación de Dosis de Nitrógeno con Base en Análisis Químicos: I. Descripción del Modelo. Memoria XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tamaulipas, México. p-151.
27. García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. UNAM. México. 246 p.
28. García-Mendoza, A. 1998. Con sabor a maguey. Jardín Botánico. Instituto de Biología. UNAM. México. 114 p.
29. García-Pérez. 2000. Uso de las lombrices de tierra. Agrocultura. No.65 Año 11 México, D. F. p:19-23.
30. ICAPET. 1999. Instituto de Capacitación y Productividad para el Trabajo del Estado de Oaxaca. Gobierno del Estado de Oaxaca. I Censo de la Industria del Mezcal.

31. Gobierno del Estado de Oaxaca., Cámara Nacional de la Industria del Mezcal y Organizaciones productoras de mezcal. 1997. Mezcal elixir de larga vida. CVS Publicaciones, S. A de C. V. México, D.F. 120 p.
32. Gómez-Cruz, G. 1995. La micorriza vesículo arbuscular en frutales. In: Agromicrobiología. Elemento útil en la agricultura sustentable. R. Ferrera-Cerrato y Pérez-Moreno (eds). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo. Estado de México. p: 184-197.
33. González, L. L. A. 1998. Establecimiento y manejo de plantaciones de lechuguilla, para la producción de ixtle. Tecnologías Llave en Mano. División Forestal. SAGAR. INIFAP. p:217-218.
34. Granados, S. D. 1993. Los agaves en México. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 252 p.
35. Guzmán, E. C. y Monjaraz, A. F. 1982. La materia orgánica en el suelo. SARH. INIA. CIAPAC. Campo experimental costa de Jalisco. 201 p.
36. Guzmán-Plazola, R., Ferrera-Cerrato, R., Etchevers, B. J. D., Volke, H. V. 1990. Biotecnología de la producción de inóculo micorrizico V-A. Agrociencia. Serie Agua-Suelo-Clima. Vol. 1. Num. 3. 1990. México. p: 155-181.
37. _____, y Ferrera-Cerrato, R. 1990. La endomicorriza vesiculo-arbuscular en las leguminosas. Colegio de Postgraduados. Primera edición. México. p-9.
38. Hernández, L. B. A. y Ramírez, C. M. J. 1988. Guía para producir maíz y frijol IB intercalados al Henequén en etapa de cultivo. SARH-INIFAP. Campo Experimental de la Zona Henequenera. Mérida, Yuc. ,México. 15 p.
39. Holguin, G., Bashan, Y., y Ferrera-Cerrato, R. 1996. Interacciones entre plantas y microorganismos benéficos: III. Procedimientos para el aislamiento y caracterización de hongos micorrizicos y rizo bacterias promotoras de crecimiento en plantas. TERRA. Num. 2. Vol. 14. p:211-225.
40. INEGI, 1988. Atlas Nacional del Medio Físico. Aguascalientes, México.

41. INIA, 1972-1982. Archivo de información sobre análisis de suelos de los Valles Centrales de Oaxaca. SAGAR-INIFAP-CIRPS. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca (Documento interno de trabajo).
42. INIFAP, 1998. Como producir Maíz-Frijol IB intercalados a Henequén. Tecnologías Llave en Mano. División Agrícola. Tomo 1. SAGAR. p:275-277.
43. _____. 1993. Determinación del potencial productivo de especies vegetales en el Estado de Oaxaca. Distritos de Desarrollo Rural No. 104. Valles Centrales y No. 106 Istmo. Centro de Investigación Regional del Pacífico Sur. Oax. p:6-8
44. _____. 2000. Proyecto: Agricultura de laderas y labranza de conservación en el estado de Oaxaca. CIRPAS: Campos Experimentales Mixteca, Costa y Valles Centrales (Documento interno de trabajo).
45. J. Coombs., D.O. Hall., S. P. Long., J. M. O. Scurlock. 1988. Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. Traducción al español, segunda edición. Editorial Futura, S. A. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 246 p.
46. Jiménez, R. F. 2000. Cultivo del maguey en los Valles Centrales de Oaxaca. SAGAR. Alianza para el Campo. SEDAF, PEAT 2000. Coordinación Regional Ocotlán, Ejutla, Miahuatlán.
47. José, J. R. 1993. El crecimiento y las practicas culturales de los agaves pulqueros del Valle de México. Tesis de licenciatura. UNAM-Iztacala, México. 82 p.
48. _____. 1995. Estimación de la Productividad en *Agave angustifolia* Haw. Tesis M. C. Especialidad en Botánica. Colegio de Postgraduados. México. 73 p.
49. _____, y García, M. E. 1995. Fijación de CO₂, en *Agave angustifolia* Haw. Bol. Soc. Bot. México. 57: 5-10(1995). Chapingo, México.
50. Khalil-Gardezi, D., D. Talavera-Magaña., R. Ferrera-Cerrato., Rodríguez-Neave., M. Larqué-Saavedra y A. Alarcón-O. 1999. Efecto de la endomicorriza arbuscular asociada con materia orgánica en *Leucaena leucocephala* L. Avances de Investigación 1999. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. p:123-124.
51. _____, D. Talavera-Magaña., R. Rodríguez-Neave y M. Larqué-Saavedra. 1999. Efecto de *Rhizobium sp.*, Endomicorriza arbuscular y fósforo en

el crecimiento del mezquite (*Prosopis sp*). Avances de Investigación 1999. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. p:125-127.

52. López, S. C. 1989. Principales enfermedades que afectan al *Agave angustifolia* Haw y *A. Americana* L. En el distrito de Tlacolula, Oaxaca. Tesis de licenciatura. UNAM. Iztacala. México. 119 p.
53. Manuales para la Educación Agropecuaria. 1984. Suelos y Fertilización. SEP. Editorial Trillas. México. 80 p.
54. Martínez, G. A. 1988. Diseños Experimentales. Métodos y elementos de teoría. Primera edición. Editorial Trillas. México, D. F. 751p.
55. Martínez, P. M. y Tico, R. L. 1974. Agricultura Práctica. Editorial Ramón Sopena S. A. España. 680 p.
56. Mendoza, G. 1999. AGROSEM. Plantaciones modernas. Transferencia de Tecnología en el cultivo del agave. Oct-Dic. 1999. Año 4. No. 4 Guadalajara, Jalisco, México. p:23-32.
57. Meza, S. R. 1998. Método indirecto para estimar la fitomasa aérea en plantas. Tecnologías Llave en Mano. División Forestal. SAGAR. INIFAP. p:223-224.
58. Muñoz, A. D. y Dzib, E. R. 1983. Guía para establecer semilleros de Henequén. SARH. INIA. CIAPY. Campo Agrícola Experimental de la Zona Henequenera. Yucatán, México. Folleto para productores Num. 6. 13 p.
59. National Plant Food Institute, 1986. Manual de fertilizantes. Editorial Limusa. Séptima reimpresión. México. p:133-146.
60. Nobel, S. P. and W. L. Berry. 1985. Element responses of agaves. Am. J. Bot. 72(5):686-694.
61. _____. 1985(a). Water relations and carbon dioxide uptake of agave deserti-special adaptation to desert climates. Desert Plants 7(2). 1985, p:51-56.
62. _____. 1985(b). Par, Water, and temperature limitations on the productivity of cultivated *Agave fourcroydes* (henequén). Journal of Applied Ecology (1985) 22, 157-173.
63. _____ and Hartsock, T. L. 1986. Temperature, Water, and PAR influences on predicted and measured productivity of *Agave deserti* at various elevations. Oecología (Berlin) 1986 68:181-185.

64. _____ and Valenzuela, G. A. 1987. Environmental responses and productivity of the CAM plant, *Agave tequilana*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 39 (1987) 319-334.
65. _____, Quero, E. and Linares, H. 1988. *Journal of plant nutrition*. 11: 12, 1683-1700.
66. _____. 1998. *Los Incomparables Agaves y Cactus*. Editorial Trillas. México. 211 p.
67. _____, M. Castañeda., G. North., E. Pimienta-Barrios, y A. Ruiz. 1998. Temperature influences on leaf CO₂ exchange, cell viability and cultivation range for *Agave tequilana*. *Journal of Arid Environments* (1998) 39:1-9
68. Noriega, A. G. y Vidal, B. J. 1997. Conocimiento y uso de la lombriz de tierra en el procesamiento de desechos sólidos orgánicos. In: *II Congreso Nacional Agropecuario y Forestal*. UACH. México. p: 104-105.
69. Palma, C. F. J. 1989. La erosión asociada al cultivo del agave. In *Primer encuentro estatal de análisis, estudio y perspectivas sobre el aprovechamiento integral del maguey*. Etla, Oaxaca. 1989. Gobierno del Estado de Oaxaca. SEDER. SARH. SRA. p: 14-15.
70. Pérez-Moreno, J. y Ferrera-Cerrato, R. 1995. Importancia ecológica de la ectomicorriza en los sistemas forestales templados. *XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo*. p:94.
71. Perrin, R. K., D. L. Winkelmann., E. R. Moscardi y J. R. Anderson, 1976. *Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un Manual Metodológico de Evaluación Económica*. Folleto de Información No. 27. CIMMYT. Cuarta impresión, 1986. 54p.
72. Quiroz, M. J. 1999. *Lo que quería saber del mezcal y temía preguntar*. Universidad José Vasconcelos de Oaxaca. 204p.
73. Ramírez-Gama, R. M., y Luna-Millán, B. 1995. Simbiosis asociativas. In: *Agro microbiología. Elemento útil en la agricultura sustentable*. R. Ferrera-Cerrato y Pérez-Moreno (eds). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo. Estado de México (1995). p: 143-159.
74. Ramírez, C. M. J. 1993. Cultivos intercalados al henequén. In: *Henequén. Publicación especial*. 1993. Barrera, H. J. A. y Díaz, P. R. (Coord.). INIFAP. Campo Experimental Zona Henequenera, Yucatán, México. p: 19-24.

75. Ramírez, L. A. 1936. Distribución de los agaves de México. An. Instituto de Biología. 7(1):17-45.
76. Ramírez, CH. J. L. y Díaz, P. R. 1993. Semilleros. In: Henequén. Juan Arturo Barrera Hernández/Raúl Díaz Plaza. (coordinadores). SARH-INIFAP. Campo de Investigación del Sureste. p:11-12.
77. Rebolledo, R. H. H. 1998. Estimación de diferentes modelos de regresión a experimentos de fertilización y su comparación con fines de generar recomendaciones óptimas económicas. TERRA. Num. 3. Vol. 16. p:247-258
78. Rodríguez-Mendoza, N. 1995. Microorganismos libres fijadores de nitrógeno. In: Agro microbiología. Elemento útil en la agricultura sustentable. R. Ferrera-Cerrato y Pérez-Moreno (eds). Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo. Estado de México (1995). p: 105-126.
79. Rojo, S. J. V. 1980. Evaluación de cinco metodologías para la generación de recomendaciones sobre fertilización y densidad de población en maíz de temporal en los Valles Centrales de Oaxaca. Tesis M.C. Especialidad en suelos. Colegio de Postgraduados. México. 170p.
80. Romero, L. M. R. 1997. Abonos Orgánicos y Minerales en la Sustentabilidad Agrícola. In: II Congreso Nacional Agropecuario y Forestal. U.A.CH. México. p:106.
81. Ruiz, F. J. F. 1996. Los fertilizantes y la fertilización orgánica bajo la óptica de un sistema de producción orgánica. Primer Foro Nacional Sobre Agricultura Orgánica. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco. CONARAO. SAGAR. México. p-23-46
82. SAGAR-ASERCA, 2000. Claridades Agropecuarias. Agave tequilero; pencas que abrazan al mundo. Revista de publicación mensual. Noviembre 2000.
83. Sánchez, L. A. 1989. Oaxaca, Tierra de maguey y mezcal. Instituto Tecnológico de Oaxaca. 179 p.
84. Santamaría-Romero, S. y Ferrera-Cerrato, R. 1996. Contenido nutrimental de vermicompostas producidas de diferentes desechos orgánicos. XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Noviembre de 1996. Sonora, México. p:116.
85. SEP/Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca.1999. Centro de Diagnostico Ambiental. Análisis de suelos. 13 de diciembre de 1999.

Exhacienda de Nazareno Xoxocotlán, Oax. Apartado postal 273. CP 68,000 Oaxaca, Oax.

86. Sibaja, B. P. 1989. El maguey: Su historia en Oaxaca. In: Primer encuentro estatal de análisis, estudio y perspectivas sobre el aprovechamiento integral del maguey. Etla, Oaxaca. 1989. Gobierno del Estado de Oaxaca. SEDER. SARH. SRA. p:7-8.
87. SQM. México. Nitratos Chilenos. Fertilización del Agave tequilero. Tríptico informativo.
88. Teuscher, H. y Adler R. 1985. El suelo y su Fertilidad. Compañía Editorial Continental S.A. de C. V. México. 510 p.
89. Thompson, L. M. 1974. El suelo y su fertilidad. Editorial Reverté, S.A. Tercera edición. España. 401p.
90. Urrutia, C. S. P. 1986. Etnobotánica de los agaves en los Valles Centrales de Oaxaca. Tesis de licenciatura. UNAM-Iztacala, México. 92 p.
91. Valenzuela, Z. A. G. Y González, E. D. R. 1995. Fertilización de agave tequilero (*Agave tequilana* Weber) en la región de Tequila, Jalisco, México. Ensayo de una metodología para analizar crecimiento en cultivos multianuales mediante una técnica no destructiva. Terra Vol. 13 Núm.1 p: 81-95.
92. _____. 1989. Cultivo del maguey tequilero azul, en el estado de Jalisco. In: Primer encuentro estatal de análisis, estudio y perspectivas sobre el aprovechamiento integral del maguey. Etla ,Oaxaca. 1989. Gobierno del Estado de Oaxaca. SEDER. SARH. SRA. p: 26-28.
93. _____. 2000_(a). Agave y tequila, binomio inseparable y cadena de fuertes contradicciones. 2000 Agro. Revista industrial del campo. Agosto/octubre año2. No. 7. p:16-17.
94. _____. 2000_(b). Tequila Cazadores. Manual para agaveros. 90p.
95. Villalvazo, R. A. S. 1986. Problemas y aspectos agropecuarios en México. El cultivo del Mezcal (*Agave tequilana* Weber) En la región de Tequila, Jalisco. Tesis de licenciatura. UACH. México. 78 p.
96. Volke, H.V. 1995. Alternativas de fertilización para cultivos. Memoria XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Tamaulipas, México. p:214.

97. _____., Etchevers, B. J. D., Sanjuan, R. A., Silva, P. T. 1997. Modelo de balance nutrimental para la generación de recomendaciones de fertilización para cultivos. TERRA. Num.1. Vol.16. p:79-91.
98. Zavala, M. B., Tirado, T. J. L., Sánchez, G. P., Echeagaray, A. A. 1998. Fosfatasas ácidas y microorganismos rizosfericos:solubilizadores de fósforo. 1er Simposio Nacional Sobre Nutrición de Cultivos. Nutrir para Competir. Tecnológico de Monterrey, campus Querétaro. p:64
99. Zárate, R. R., Palma, C. F. J., López, S. C., Ruiz, P. L., Aquino, L. T., Canseco, L. A. M. y Anguiano, P. J. L. 1998. Tecnología para la producción de propágulos de maguey mezcalero (*Agave angustifolia* Haw) con variabilidad genética y resistencia a plagas y enfermedades. Informe final Proyecto A-50. INIFAP. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca. 69 p.

VIII. APENDICE

Cuadro 1A. Efecto individual de los componentes de la fertilización orgánica sobre el crecimiento del agave mezcalero a través de los incrementos logrados en todas las variables estudiadas.

Sitio/variable	Estiércol (E)			Composta (C)			Micorriza (M)		
	Sin	con	%	sin	Con	%	sin	Con	%
Altura de planta (cm)									
1. El Coyul	32.0	29.0	91	29.0	31.9	110	28.8	32.1	111
2. El Camarón	31.0	26.6	86	32.1	25.5	79	26.3	31.3	119
3. Etla	12.6	17.6 *	140	14.5	15.7	108	16.8	13.4	80
4. Ejutla	13.6	13.3	98	15.0	11.9	79	14.5	12.4	85
5. Guelavila	16.3	16.9	104	16.0	17.2	107	16.8	16.4	98
6. C.E. Z.	15.2	15.8	104	14.2	16.7	118	16.5	14.4	87
Promedio	20.1	19.8	103.8	20.1	19.8	100.1	19.9	20.0	96.6
Diámetro de planta (cm)									
1. El Coyul	57.9	53.7	93	52.0	59.6	115	54.4	57.2	105
2. El Camarón	60.5	61.3	101	60.6	61.3	101	64.6	57.3	89
3. Etla	26.9	27.5	102	27.9	26.5	95	30.8	23.6	77
4. Ejutla	36.9	34.6	94	39.4	32.0	81	35.6	35.8	100
5. Guelavila	14.9	15.8	106	13.4	17.3	129	16.1	14.6	91
6. C.E. Z.	10.0	14.7	147	10.8	13.8 *	128	11.0	13.6*	124
Promedio	34.5	34.6	107.1	34.0	35.0	108.1	35.4	33.6	97.6
Hojas por planta									
1. El Coyul	42.3	42.1	99	40.7	43.7	107	41.5	42.9	103
2. El Camarón	49.3	52.9	107	50.7	51.5	101	53.3 *	48.8	91
3. Etla	29.4	27.6	94	29.8	27.2	91	28.1	28.9	103
4. Ejutla	18.8	17.9	95	18.3	18.4	100	17.8	18.8	106
5. Guelavila	14.7	15.7	107	14.8	15.6	105	14.8	15.6	105
6. C.E. Z.	5.3	5.9	111	5.5	5.7	104	6.1	5.1	84
Promedio	26.6	27.0	101.5	26.6	27.0	101.3	26.9	26.6	98.6
Longitud de cogollo (cm)									
1. El Coyul	22.1 *	17.9	81	20.6	19.4	94	19.5	20.4	105
2. El Camarón	25.2	22.5	89	23.4	24.2	103	21.9	25.7	117
3. Etla	9.4	10.5	112	8.5	11.4	134	10.8	9.2	85
4. Ejutla	10.6	11.1	105	12.4	9.3	75	11.5	10.2	89
5. Guelavila	12.8	13.9	108	13.7	13.0	95	12.2	14.5	119
6. C.E. Z.	15.9	14.5	91	15.7	14.7	94	14.2	16.2	114
Promedio	16.0	15.0	97.6	15.7	15.2	99.1	15.0	16.0	104.8
Diámetro de cogollo (cm)									
1. El Coyul	1.6	1.2	75	2.1 *	0.7	33	1.4	1.5	107
2. El Camarón	1.0	0.8	80	0.8	1.0	125	1.0	0.8	80
3. Etla	1.6	2.1	131	1.8	1.9	105	1.7	2.0	118
4. Ejutla	1.9	1.8	95	2.0	1.7	85	1.8	1.9	105
5. Guelavila	1.8	2.0	111	2.0	1.9	95	1.8	2.0	111
6. C.E. Z.	0.7	0.6	86	0.6	0.7	117	0.7	0.6	86
Promedio	1.4	1.4	96.3	1.5	1.3	93.3	1.4	1.4	101.1

* = $p < 0.05$

Cuadro 2A. Efecto de la combinación doble de los componentes de fertilización orgánica, sobre los incrementos logrados a través de todas las variables estudiadas.

Sitio/Variable	EC					0-0	EM				0-0	CM			
	0-0	0-1	3-0	3-1	Promedio		0-5	3-0	3-5	Promedio		0-5	1-0	1-5	Promedio
	1. Altura de planta (cm)														
1.El Coyul	29.5	34.5	28.6	29.4	30.8	29.5	34.5	28.2	29.8	30.8	26.6	31.5	31.1	32.8	31.8
2. Camarón	36.3	25.7	27.8	25.3	26.2	28	34	24.6	28.6	29.0	26.7	37.4	25.9	25.1	29.4
3. Etla	9.7	15.4	19.3	16	16.9 *	11.3	13.8	22.2	13.1	16.3 *	16.5	12.6	17.1	14.3	14.6
4. Ejutla	15	12.2	15	11.5	12.9	15.9	11.3	13.1	13.5	12.6	16.9	13.1	12.1	11.6	12.2
5. Guelavila	15.2	17.3	16.8	17.1	17.0	16.1	16.4	17.5	16.4	16.7	16	16	17.6	16.8	16.8
6. C. E.Z.	12	18.3	16.4	15.1	16.6	14.7	15.7	18.3	13.2	15.7	17.8	10.6	15.2	18.3	14.7
Promedio	19.6	20.6	20.7	19.1	20.0	19.2	20.9	20.6	19.1	20.1	20.1	20.2	20	19.8	19.9
	2. Diámetro de planta (cm)														
1.El Coyul	53.7	62.1	50.4	57.1	56.5	56.7	59.2	52.2	55.3	55.8	52.1	52	56.8	62.4	57.0
2. Camarón	61	60.1	60.1	62.5	60.9	62.3	58.8	66.9	55.7	60.4	56.1	65.1	73.2	49.4	62.5 **
3. Etla	23.2	30.5	32.5	22.4	28.4	29	24.7	32.5	22.4	26.5	30.4	25.4	31.2	21.8	26.1
4. Ejutla	41.4	32.3	37.5	31.6	33.8	38.8	34.9	32.4	36.7	34.6	40.3	38.6	30.9	33.1	34.2
5. Guelavila	11.9	17.9	15	16.6	16.5	16	13.9	16.2	15.4	15.1	14.1	12.7	18	16.6	15.7
6. C. E.Z.	9.4	10.6	12.3	17	13.3	7.3	12.7	14.7	14.6	14.0	12.7	9	9.3	18.3	12.2
Promedio	33.4	35.6	34.6	34.5	34.9	35.0	34.0	35.8	33.4	34.3	34.3	33.8	37	33.6	34.6
	3. Número de hojas nuevas														
1.El Coyul	41.1	43.5	40.2	43.9	42.5	40.9	43.8	42.1	42.1	42.6	40.7	40.6	42.2	45.3	42.7
2. Camarón	49.3	49.2	52.1	53.7	51.6	49.8	48.8	56.9	48.9	51.5	50.1	51.3	56.6	46.4	51.4 *
3. Etla	31.7	27	27.8	27.3	27.3	27	31.7	29.1	26.1	28.9	27.8	31.7	28.3	26.1	28.7
4. Ejutla	18.4	19.1	18.2	17.7	18.3	19	18.5	16.9	19	18.1	17.4	19.2	18.5	18.3	18.6
5. Guelavila	13.7	15.7	16	15.4	15.7	14.4	15	15.2	16.2	15.4	14.3	15.4	15.4	15.7	15.5
6. C. E.Z.	4.6	6	6.4	5.3	5.9	5.1	5.6	7.1	4.6	5.7	6.5	4.5	5.7	5.7	5.3
Promedio	26.4	26.8	26.8	27.2	26.8	26.0	27.2	27.8	26.2	27.0	26.1	27.1	28	26.3	27.0
	4. Longitud de cogollo (cm)														
1.El Coyul	20.9	23.3	20.2	15.5	19.6	21.6	22.6	17.4	18.3	19.4	19	22.1	20	18.8	20.3
2. Camarón	27.2	23.1	19.6	25.3	22.6	26.3	24	17.5	27.5	23.0	21.1	25.7	22.7	25.8	24.7
3. Etla	6.4	12.5	10.7	10.4	11.2	7.6	11.3	13.9	7.1	10.7 *	10.7	6.4	10.9	12	9.7
4. Ejutla	11.7	9.5	13.1	9.2	10.6	11.3	9.9	11.7	10.6	10.7	13.9	10.9	9.1	9.6	9.8
5. Guelavila	13.9	11.6	13.5	14.4	13.1	10.8	14.8	13.6	14.3	14.2	12.3	12.1	15.1	14	13.7
6. C. E.Z.	15.5	16.2	15.9	13.2	15.1	13.7	18.1	14.8	14.3	15.7	16	15.4	12.4	17	14.9
Promedio	15.9	16	15.5	14.7	15.3	15.2	16.7	14.8	15.4	15.6	15.5	15.4	15	16.2	15.5
	5. Diámetro de cogollo (cm)														
1.El Coyul	1.6	1.2	1.8	0.3	1.1	1.2	1.5	1	1	1.1	1.6	1.7	0.6	0.8	1.0
2. Camarón	1.1	0.8	0.4	1.2	0.8	1.1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5	1	1.5	0.6	1.0
3. Etla	1.4	1.9	2.2	1.9	2.0	1.3	2	2.9	2.1	2.3	1.9	1.6	1.4	2.4	1.8
4. Ejutla	2.1	1.7	2	1.6	1.7	1.9	1.9	1.6	2	1.8	2	2.1	1.6	1.8	1.8
5. Guelavila	1.7	2	2.3	1.8	2.0 *	1.6	2.1	2.1	2	2.0	1.8	2.1	1.8	1.9	1.9
6. C. E.Z.	0.5	0.9	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.6	0.6	0.5	0.8	0.6	0.6
Promedio	1.4	1.4	1.5	1.2	1.4	1.3	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.3	1.3	1.3

* = pr \square 0.05 ** = pr \square 0.01

Cuadro 3A. Análisis de varianza para los incrementos en altura de planta de los experimentos de fertilización orgánica.

No	Tratamientos			Coyul		Camarón		Etlá		Ejutla		Guelavila		C.E.Z.		%
	E	C	M	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	
1	0	0	0	25.1	(100)	26.7	(100)	6.3	b (100)	17.0	(100)	14.2	(100)	13.0	(100)	100
2	3	0	0	28.1	(112)	26.8	(100)	26.7	a (427)	16.8	(99)	17.8	(125)	22.6	(174)	172
3	0	1	0	33.9	(135)	29.4	(110)	16.4	ab (260)	14.8	(87)	18.1	(127)	16.3	(125)	141
4	3	1	0	28.4	(113)	22.3	(83)	17.7	ab (281)	9.4	(55)	17.2	(121)	14.0	(107)	127
5	0	0	5	33.9	(135)	46.0	(172)	13.1	ab (208)	12.9	(76)	16.3	(115)	11.0	(85)	132
6	3	0	5	29.5	(117)	28.9	(108)	12.0	ab (190)	13.3	(78)	15.7	(110)	10.2	(78)	113
7	0	1	5	35.1	(140)	21.9	(82)	14.4	ab (228)	9.6	(56)	16.6	(117)	20.4	(157)	130
8	3	1	5	30.5	(121)	28.3	(106)	14.2	ab (225)	13.7	(80)	17.1	(120)	16.3	(125)	129
Prom.				30.5		28.8		15.1		13.4		16.6		15.5		
CV				29.6		46.9		40.7		71.0		28.8		49.4		
Pr>F Rep				0.34		0.97		0.17		0.94		0.09		0.23		
E				0.36		0.36		0.02 *		0.93		0.70		0.82		
C				0.37		0.18		0.59		0.36		0.47		0.36		
E*C				0.51		0.40		0.04 *		0.91		0.60		0.17		
M				0.31		0.30		0.14		0.53		0.80		0.45		
E*M				0.60		0.84		0.01 *		0.47		0.68		0.27		
C*M				0.60		0.24		0.79		0.62		0.80		0.06		
E*C*M				0.50		0.12		0.03 *		0.51		0.40		0.44		

* = $pr \square 0.05$ ** = $pr \square 0.01$

Cuadro 4A. Análisis de varianza para los incrementos en diámetro de planta de los experimentos de fertilización orgánica.

No	Tratamientos			Coyul		Camarón		Etlá		Ejutla		Guelavila		C.E.Z.		%
	E	C	M	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	
1	0	0	0	52.1	100	47.2	100	21.0	100	43.1	100	10.2	100	7.3	100	100
2	3	0	0	52.0	100	65.0	138	39.8	189	37.5	87	18.1	177	18.0	246	156
3	0	1	0	61.3	118	77.5	164	37.1	177	34.4	80	21.8	214	7.3	100	142
4	3	1	0	52.4	100	68.9	146	25.3	120	27.3	63	14.3	140	11.4	156	121
5	0	0	5	55.4	106	74.9	159	25.5	121	39.6	92	13.6	133	11.5	157	128
6	3	0	5	48.7	93	55.3	117	25.3	120	37.5	87	11.8	116	6.5	89	104
7	0	1	5	63.1	121	42.7	90	24.0	114	30.3	70	14.1	138	13.9	190	120
8	3	1	5	61.8	119	56.2	119	19.6	93	35.9	83	19.0	186	22.7	311	152
Prom.				55.8		60.9		27.2		35.7		15.4		12.3		
CV				21.5		29.8		65.7		36.5		48.5		75.4		
Pr>F Rep				0.21		0.24		0.63		0.84		0.11		0.77		
E				0.33		0.90		0.92		0.62		0.70		0.17		
C				0.08		0.91		0.82		0.12		0.15		0.37		
E*C				0.84		0.79		0.18		0.74		0.41		0.59		
M				0.51		0.26		0.26		0.96		0.59		0.43		
E*M				0.95		0.55		0.65		0.38		0.80		0.41		
C*M				0.51		0.01 **		0.73		0.66		0.99		0.06		
E*C*M				0.41		0.03 *		0.30		0.61		0.04 *		0.13		

* = $pr \square 0.05$ ** = $pr \square 0.01$

Cuadro 5A. Análisis de varianza para los incrementos en el número de hojas nuevas de los experimentos de fertilización orgánica.

No	Tratamientos			Coyul		Camarón		Etla		Ejutla		Guelavila		C.E. Z.		%
	E	C	M	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	
1	0	0	0	39.3	100	47.7	100	25.2	121	17.5	100	13.1	100	4.2	100	100
2	3	0	0	42.1	107	52.5	110	30.5	121	17.3	99	15.4	117	8.9	212	128
3	0	1	0	42.5	108	51.8	108	28.9	115	20.4	116	15.8	121	6.0	143	118
4	3	1	0	42.0	107	61.4	129	27.7	110	16.5	94	15.0	114	5.3	126	113
5	0	0	5	43.0	109	50.9	107	38.3	152	19.3	110	14.3	109	5.1	121	118
6	3	0	5	38.2	97	51.7	108	25.2	100	19.2	110	16.6	127	4.0	95	106
7	0	1	5	44.6	113	46.6	98	25.2	100	17.8	102	15.7	120	6.0	143	113
8	3	1	5	45.9	117	46.1	97	27.0	107	18.8	107	15.8	121	5.3	126	112
Prom.				42.2		51.1		28.5		18.3		15.2		5.65		
CV				11.1		10.9		36.6		22.4		15.4		46.7		
Pr>F Rep				0.05 *		0.04 *		0.56		0.74		0.22		0.05 *		
E				0.86		0.07		0.63		0.58		0.23		0.57		
C				0.07		0.70		0.49		0.94		0.39		0.89		
E*C				0.68		0.65		0.57		0.65		0.12		0.19		
M				0.38		0.03 *		0.82		0.56		0.36		0.29		
E*M				0.38		0.08		0.31		0.39		0.78		0.12		
C*M				0.36		0.00 *		0.41		0.50		0.64		0.29		
E*C*M				0.17		0.45		0.15		0.42		0.77		0.12		

* = $pr \leq 0.05$ ** = $pr \leq 0.01$

Cuadro 6A. Análisis de varianza para los incrementos en longitud del cogollo de los experimentos de fertilización orgánica.

No	Tratamientos			Coyul		Camarón		Etla		Ejutla		Guelavila		C.E. Z.		%
	E	C	M	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	
1	0	0	0	19.4	100	24.2	100	4.07	100	13.0	100	9.9	100	14.0	100	100
2	3	0	0	22.5	116	18.0	74	17.3	425	14.9	115	14.8	149	18.0	128	168
3	0	1	0	23.9	123	28.4	117	11.1	273	9.7	75	11.7	118	13.3	95	133
4	3	1	0	22.7	117	17.0	70	10.6	260	8.5	65	12.5	126	11.5	82	120
5	0	0	5	18.7	96	30.1	124	8.7	214	10.4	80	18.0	182	17.1	122	136
6	3	0	5	21.7	112	21.2	88	4.1	101	11.4	88	12.2	123	13.8	98	102
7	0	1	5	16.2	83	17.9	74	13.9	341	9.4	72	11.6	117	19.2	137	137
8	3	1	5	14.9	77	33.7	139	10.2	251	9.9	76	16.4	166	14.8	106	136
Prom.				20.0		23.8		10.0		10.9		13.4		15.2		
CV				29.3		50.0		55.4		60.2		53.8		64.1		
Pr>F Rep				0.35		0.34		0.25		0.72		0.08		0.60		
E				0.05 *		0.53		0.57		0.81		0.65		0.69		
C				0.58		0.84		0.15		0.20		0.80		0.77		
E*C				0.10		0.26		0.11		0.69		0.53		0.62		
M				0.66		0.37		0.44		0.59		0.37		0.57		
E*M				0.98		0.16		0.01 *		0.92		0.52		0.48		
C*M				0.31		0.86		0.18		0.45		0.86		0.46		
E*C*M				0.99		0.09		0.07		0.77		0.16		0.73		

* = $pr \leq 0.05$ ** = $pr \leq 0.01$

Cuadro 7A. Análisis de varianza para los incrementos en diámetro del cogollo de los experimentos de fertilización orgánica.

No	Tratamientos			Coyul		Camarón		Etila		Ejutla		Guelavila		C.E. Z.		%	
	E	C	M	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%		
1	0	0	0	2.5	100	0.21	b 100	1.24	100	2.20	100	1.45	b 100	0.67	100	100	
2	3	0	0	1.8	72	0.89	a 424	2.70	218	1.87	85	2.30	ab 159	0.67	100	176	
3	0	1	0	1.1	44	2.17	a 1033	1.42	114	1.77	80	1.75	ab 121	0.87	130	254	
4	3	1	0	0.2	8	0.87	a 414	1.49	120	1.42	64	2.02	ab 139	0.85	127	145	
5	0	0	5	1.8	72	2.10	a 1000	1.60	129	2.10	95	1.95	ab 134	0.5	75	251	
6	3	0	5	2.5	100	0.05	b 24	1.77	143	2.17	99	2.30	ab 159	0.62	92	103	
7	0	1	5	1.3	52	-0.42	b 0	2.50	202	1.77	80	2.25	ab 155	0.92	137	104	
8	3	1	5	0.3	12	1.62	a 771	2.43	196	1.90	86	1.70	ab 117	0.42	63	207	
Prom.				1.2		0.93		1.89		1.90		1.96		0.69			
CV				97.2		175.7		45.2		39.8		24.0		53.7			
Pr>F Rep				0.99		0.60		0.16		0.45		0.14		0.12			
E				0.41		0.79		0.19		0.66		0.18		0.45			
C				0.03 *		0.67		0.66		0.18		0.68		0.26			
E*C				0.20		0.37		0.19		0.98		0.03 *		0.23			
M				0.65		0.73		0.24		0.53		0.32		0.26			
E*M				0.65		0.79		0.25		0.42		0.06		0.51			
C*M				0.98		0.22		0.04 *		0.80		0.63		0.77			
E*C*M				0.69		0.01 *		0.34		0.94		0.63		0.26			

* = pr \square 0.05 ** = pr \square 0.01

Cuadro 8A. Obtención de valores para bonificación por azúcares

Trat.	Rend. (ton/ha)	Azúcares				Valor Cosecha = (rend.x3333) (\$)	Valor Cosecha + Azúcar (\$)
		Contenidos (%)	Diferencia Respecto Testigo	Valor Diferencia (\$)	Bonificación = Diferencia (X) rendimiento (\$)		
1(T)	102.12	9.14	0	0	0	340,365.9	340,365.9
2	95.12	9.28	0.14	1.77	168.36	317,034.9	317,203.3
3	92.24	11.27	2.13	27.0	2,490.48	307,435.9	309,926.4
4	130.56	22.29	13.15	166.9	2,170.46	435,156.4	456,946.9
5	90.08	12.38	3.24	41.1	3,702.28	300,236.6	303,938.9
6	111.68	10.34	1.2	15.2	1,697.53	372,229.4	373,926.9
7	100.24	19.59	10.45	132.6	13,291.82	334,099.9	347,391.7
8	101.52	13.48	4.34	55.0	5,583.6	338,366.1	343,949.7
Adicionales							
9	112.72	12.33	3.19	40.49	4,564.0	375,695.7	380,259.7
10	126.79	16.29	7.15	90.77	11,508.72	422,591.0	434,099.7
11	114.36	10.00	0.86	10.91	1,247.66	381,161.8	382,409.5
12	157.54	35.37	26.23	333.0	52,490.82	525,080.8	577,541.6

Cuadro 9A. Efecto individual de los componentes de la fertilización química sobre el crecimiento y desarrollo del agave a través de los incrementos logrados en todas las variables y sitios.

Variable	Nitrógeno (N)			Fósforo (P ₂ O ₅)			Potasio (K ₂ O)		
	Sin	Con	%	sin	con	%	Sin	Con	%
	1. Altura de planta								
1. Coyul	22.9	20.5	89.5	21.2	21.8	102.8	22.4	20.6	91.9
2. Camarón	28.9	28.5	98.6	28.0	29.4	105.0	27.9	29.5	105.7
3. Etlá	14.2	18.4	129.5	17.0	15.7	92.3	16.0	16.6	103.7
4. Ejutla	17.3	20.9	120.8	19.5	18.6	95.3	19.3	18.9	97.9
5. Guelavila	14.8	22.5 **	152.0	15.9	21.4 *	134.5	17.7	19.6	110.7
6. CEZ	19.7	20.4	103.5	19.8	20.3	102	18.3	21.8 *	119
Promedio	19.6	21.8		20.2	21.2		20.2	21.1	
	2. Diámetro de planta								
1. Coyul	51.1	51.5	100.7	49.0	53.6	109.3	54.5	48.1	88.2
2. Camarón	78.3	66.8	85.3	70.5	74.5	105.6	75.2	69.8	92.8
3. Etlá	20.8	16.0	76.9	20.9	15.9	76.0	17.4	19.3	110.9
4. Ejutla	37.5	33.9	90.4	32.2	39.1	121.4	34.0	37.3	109.7
5. Guelavila	22.5	22.2	98.6	23.8	21.0	88.2	25.6	19.1	74.6
6. CEZ	14.3	16.1	112	15.2	15.3	101	15.0	15.5	103
Promedio	37.4	34.4		35.2	36.5		36.9	34.6	
	3. Hojas nuevas								
1. Coyul	37.8	38.2	101.0	38.3	37.6	98.1	38.1	37.8	99.2
2. Camarón	47.4	48.9	103.1	48.6	47.8	98.3	49.0	47.4	96.7
3. Etlá	25.6	26.8	104.6	26.1	26.4	101.1	27.0	25.4	94.0
4. Ejutla	20.9	20.8	99.5	20.1	21.6	107.4	20.7	20.9	100.9
5. Guelavila	17.7	24.1 **	136.1	19.5	22.3	114.3	20.8	21.0	100.9
6. CEZ	7.5	7.2	96	6.9	7.8	113	7.5	7.2	96
Promedio	26.1	27.6		26.5	27.2		27.1	26.6	
	4. Longitud de cogollo								
1. Coyul	11.4	11.6	101.7	12.3	10.7	86.9	10.6	12.4	116.9
2. Camarón	23.6	21.3	90.2	24.1	20.8	86.3	20.8	24.1	115.8
3. Etlá	5.9	6.3	106.7	5.7	6.5	114.0	6.3	5.9	93.6
4. Ejutla	11.2	14.7	131.2	13.3	12.7	95.4	13.4	12.6	94.0
5. Guelavila	9.1	14.2 **	156.0	10.2	13.1	128.4	10.6	12.6	118.8
6. CEZ	12.9	13.7	106	12.4	14.2	114	11.3	14.9	132
Promedio	12.3	13.6		13.0	13.0		12.1	13.7	
	5. Diámetro de cogollo								
1. Coyul	-0.9	-0.8	88.8	-1.1	-0.7	63.6	-0.45	-1.3	288.8
2. Camarón	0.8	2.1	262.5	1.5	1.4	93.3	1.1	1.9	172.7
3. Etlá	1.5	1.6	106.6	1.5	1.6	106.6	1.7	1.4	82.3
4. Ejutla	1.8	1.6	88.9	1.6	1.8	112.5	1.8	1.6	88.8
5. Guelavila	1.9	2.8 *	147.3	2.2	2.5	113.6	2.1	2.5	119.0
6. CEZ	0.5	0.6	120	0.4	0.7	175	0.5	0.7	140
Promedio	1.88	1.51		1.28	2.11		2.05	1.36	

* = pr < 0.05 ** = pr < 0.01

Cuadro 10 A. Efecto de la fertilización química combinada NP,NK,PK sobre el crecimiento del agave a través de sus incrementos en todas las variables estudiadas.

Variable	NP					NK					PK				
	0-0	0-30	60-0	60-30	Prom.	0-0	0-40	60-0	60-40	Prom.	0-0	0-40	30-0	30-40	Prom.
	1. Altura de planta														
El Coyul	23.1	22.7	19.4	20.8	20.9	25.5	20.3	19.4	20.8	20.1	25.6	16.8	19.2	24.3	20.1
El Camarón	27.5	30.2	28.5	28.5	29.0	27.7	30.1	28.1	28.9	29.0	27.3	28.8	28.5	30.2	29.1
Etla	16.2	12.2	17.8	19.1	16.3	14.9	13.5	17.0	19.8	16.7	17.3	16.7	14.7	16.6	16.0
Ejutla	18.1	16.5	21.0	20.8	19.4	21.4	13.1	17.1	24.7 *	18.3	17.5	21.6	21.1	16.2	19.6
Guelavila	13.4	16.2	18.3	26.7	20.4	13.9	15.7	21.6	23.5	20.2	16.2	15.6	19.3	23.5	19.4
C.E.Z.	17.7	21.7	21.9	18.9 *	20.8	17.9	21.5	18.7	22.1	20.7	18.5	21.2	18.2	22.4	20.6
Promedio	19.3	19.9	21.2	22.5	21.1	20.2	19.0	20.3	23.3	20.8	20.4	20.1	20.0	22.2	20.8
	2. Diámetro de planta														
El Coyul	47.1	55.1	50.9	52.0	52.6	53.4	48.9	55.6	47.3	50.6	52.5	45.5	56.4	50.7	50.8
El Camarón	80.3	76.3	60.8	72.8	69.0	85.8	70.7	34.6	68.9	58.0	75.5	65.5	74.9	74.1	71.5
Etla	25.1	16.6	16.8	15.1	16.1	18.1	23.6	18.8	15.1	19.1	22.6	19.3	12.3	19.4	17.0
Ejutla	34.6	40.3	29.9	37.9	36.0	38.3	36.6	29.8	38.0	34.8	26.1	38.3	42.0	36.3	38.8
Guelavila	27.1	18.0	20.5	24.0	20.8	29.1	15.9	22.1	22.3	20.1	26.4	21.1	24.8	17.1	21.0
C.E.Z.	13.3	15.4	17.1	15.2	15.9	15.6	13.0	14.3	18.0	15.1	15.0	15.4	15.0	15.6	15.3
Promedio	37.9	37.0	32.7	36.2	35.2	40.0	34.7	29.2	34.9	32.9	36.4	34.2	38.0	35.5	35.9
	3. Número de hojas nuevas														
El Coyul	37.4	38.1	37.9	38.5	38.1	38.0	37.5	37.6	38.8	37.9	37.5	37.8	38.1	38.5	38.1
El Camarón	47.1	47.8	50.1	47.8	48.5	48.5	46.3	49.4	48.5	48.0	50.4	46.8	47.6	48.0	47.4
Etla	25.8	25.4	26.4	27.3	26.3	26.3	24.8	27.7	26.0	26.1	28.0	24.2	26.0	26.7	25.6
Ejutla	20.2	21.6	19.9	21.6	21.0	21.7	20.0	19.7	21.8	20.5	19.0	21.2	22.5	20.7	21.4
Guelavila	16.9	18.6	22.1	26.1	22.2	17.5	18.0	24.1	24.0	22.0	20.0	19.0	21.6	23.1	21.2
C.E.Z.	7.0	8.0	6.7	7.6	7.4	8.3	6.8	6.7	7.7	7.0	6.3	7.4	8.6	7.0	7.6
Promedio	25.7	26.6	27.2	28.2	27.2	26.7	25.5	27.5	27.8	26.9	26.9	26.1	27.0	27.3	26.8
	4. Longitud de cogollo														
El Coyul	11.2	11.7	13.4	9.7	11.6	11.8	11.1	9.5	13.7	11.4	12.0	12.6	9.3	12.2	11.3
El Camarón	27.4	19.7	20.7	21.9	20.7	22.7	24.5	19.0	23.7	22.4	21.7	26.5	20.0	21.7	22.7
Etla	6.41	5.4	5.0	7.6	6.0	5.1	6.6	7.4	5.2	6.4	5.3	6.1	7.2	5.8	6.3
Ejutla	10.6	11.8	15.9	13.6	13.7	14.2	8.2	12.6	16.9	12.5	12.0	14.5	14.7	10.6	13.2
Guelavila	6.8	11.5	13.7	14.7	13.3	7.7	10.6	13.6	14.7	12.9	8.4	12.1	12.9	13.2	12.7
C.E.Z.	10.9	15.0	14.0	13.3	14.1	11.8	14.1	11.3	15.5	13.6	10.4	14.5	12.9	15.2	14.2
Promedio	12.2	12.5	13.8	13.5	13.2	12.2	12.5	12.2	15.0	13.2	11.6	14.4	13.0	13.1	13.4
	5. Diámetro de cogollo														
El Coyul	-1.3	-0.5	-0.8	-0.8		-0.1	-1.7	-0.79	-0.9		-0.2	-1.9	-0.6	-0.7	
El Camarón	0.7	0.9	2.4	1.8	1.7	0.4	1.2	1.7	2.5	1.8	0.7	2.4	1.4	1.3	1.7
Etla	1.7	1.4	1.3	1.8	1.46	1.6	1.5	1.9	1.3	1.5	2.0	1.0	1.5	1.8	1.4
Ejutla	1.8	1.8	1.4	1.7	1.6	2.1	1.5	1.4	1.8	1.5	1.6	1.7	2.0	1.6	1.7
Guelavila	1.7	2.1	2.6	2.9	2.5	1.9	2.0	2.4	3.1	2.5	2.0	2.3	2.3	2.7	2.4
C.E.Z.	0.3	0.7	0.5	0.7	0.6	0.4	0.6	0.5	0.8	0.6	0.4	0.5	0.6	0.8	0.6
Promedio	1.1	1.2	1.4	1.5	1.36	1.2	1.1	1.4	1.6	1.3	1.2	1.3	1.4	1.4	1.3

* = pr \square 0.05 ** = pr \square 0.01

Cuadro 13A. Análisis de varianza para los incrementos en número de hojas por planta de los experimentos de fertilización química.

No	Tratamientos			Coyul Cm %	Camarón Cm %	Etlá Cm %	Ejutla Cm %	Guelavila Cm %	C.E. Z. Cm %	%							
	N	P	K														
1	0	0	0	38.3	100	47.0	100	28.0	100	18.3	100	17.7	ab	100	6.4	100	100
2	60	0	0	36.8	96	53.7	114.2	28.0	100	19.6	107.1	22.4	ab	126.5	6.3	98.4	107
3	0	30	0	37.7	98.4	50.1	106.5	24.7	88.2	25.2	137.7	17.3	ab	97.7	10.2	159.3	115
4	60	30	0	38.4	100.2	45.1	95.9	27.4	97.8	19.8	108.1	25.9	ab	146.3	7.1	110.9	110
5	0	0	40	36.5	95.3	47.2	100.4	23.6	84.2	22.1	120.7	16.2	b	91.5	7.7	120.3	102
6	60	0	40	39.0	101.8	46.5	98.9	24.7	88.2	20.3	110.9	21.8	ab	123.1	7.1	110.9	106
7	0	30	40	38.6	100.7	45.5	96.8	26.1	93.2	18.0	98.3	19.9	ab	112.4	5.9	92.1	99
8	60	30	40	38.5	100.5	50.5	107.4	27.3	97.5	23.3	127.3	26.3	a	148.5	8.2	128.1	118
Prom.				38.0	98.9	48.2	102.8	26.2	92.7	20.8	115.7	20.9		120.8	7.39	117.1	108.1
CV				12.3		14.1		12.5		23.7		19.5			29.2		
Pr>F Rep				0.07		0.00 **		0.00 *		0.81		0.05 *		0.15			
N				0.80		0.54		0.29		0.93		0.00 *		0.64			
P				0.69		0.73		0.81		0.40		0.06		0.21			
N*P				0.96		0.53		0.54		0.93		0.42		0.94			
K				0.83		0.53		0.18		0.91		0.85		0.73			
N*K				0.63		0.78		0.91		0.29		0.82		0.11			
P*K				0.94		0.42		0.06		0.26		0.37		0.09			
N*P*K				0.47		0.08		0.56		0.06		0.60		0.06			

Cuadro 14A. Análisis de varianza para los incrementos en longitud de cogollo de los experimentos de fertilización química.

No	Tratamientos			Coyul Cm %	Camarón Cm %	Etlá Cm %	Ejutla Cm %	Guelavila Cm %	C.E. Z. Cm %	%							
	N	P	K														
1	0	0	0	12.8	100	26.5	100	4.9	100	10.1	100	4.57	100	8.8	100	100	
2	60	0	0	11.1	86.7	17.0	64.1	5.8	118.3	13.9	137.6	12.22	267.3	12.0	136.3	135	
3	0	30	0	10.8	84.3	18.9	71.3	5.3	108.1	18.2	180.1	10.8	236.3	14.8	168.1	141	
4	60	30	0	7.8	60.9	21.0	79.2	9.0	183.6	11.2	110.8	15.12	330.8	10.0	113.6	146	
5	0	0	40	9.6	75.0	28.4	107.1	7.9	161.2	11.1	109.9	9.05	198.0	13.0	147.7	172	
6	60	0	40	15.6	121.8	24.5	92.4	4.3	87.7	17.9	177.2	15.17	331.9	16.0	181.8	165	
7	0	30	40	12.7	99.2	20.6	77.7	5.4	110.2	5.4	53.4	12.25	268.0	15.2	172.7	130	
8	60	30	40	11.7	91.4	22.9	86.4	6.2	126.5	15.9	157.4	14.30	312.9	16.7	189.7	161	
Prom.				11.5	88.4	22.5	82.6	6.1	127.9	13.0	132.3	11.69	277.8	13.3	158.5	150	
CV				58.7		49.9		56.9		62.7		47.3		36.3			
Pr>F Rep				0.96		0.60		0.15		0.77		0.08		0.79			
N				0.96		0.57		0.71		0.23		0.01 *		0.69			
P				0.52		0.42		0.53		0.83		0.15		0.34			
N*P				0.39		0.27		0.16		0.55		0.35		0.20			
K				0.46		0.42		0.79		0.78		0.31		0.07			
N*K				0.32		0.71		0.14		0.09		0.63		0.65			
P*K				0.63		0.70		0.39		0.26		0.39		0.83			
N*P*K				0.55		0.73		0.76		0.22		0.92		0.41			

Cuadro 15A Análisis de varianza para los incrementos en diámetro de cogollo de los experimentos de fertilización química.

No	Tratamientos			Coyul		Camarón		Etla		Ejutla		Guelavila		C.E. Z.		%	
	N	P	K	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%	Cm	%		
1	0	0	0	0.14	100	0.12	100	2.25	100	1.72	100	1.72	b	100	0.3	100	100
2	60	0	0	-0.63	0	1.30	1083	1.80	80	1.47	85.4	2.37	ab	137.7	0.5	166.6	117.4
3	0	30	0	-0.37	0	0.77	642	1.07	47.5	2.60	151.0	2.07	ab	120.3	0.67	223.3	135.5
4	60	30	0	-0.95	0	2.17	1808	2.00	88.8	1.45	84.3	2.60	ab	151.1	0.5	166.6	122.7
5	0	0	40	-2.81	0	1.37	1141	1.20	53.3	1.90	110.4	1.80	ab	104.6	0.4	133.3	100.4
6	60	0	40	-1.11	0	3.52	2933	0.92	40.8	1.50	87.2	2.90	ab	168.6	0.57	190	121.6
7	0	30	40	-0.74	0	1.12	933	1.82	80.8	1.15	66.8	2.20	ab	127.9	0.75	250	131.3
8	60	30	40	-0.78	0	1.55	1291	1.77	78.6	2.12	123.2	3.35	a	194.7	1.0	333.3	182.4
Prom.				-0.9		3.7	1404	1.60	67.1	1.74	101.1	2.37		143.5	0.6	209	130.1
CV				207.7		343.2		49.2		51.9		28.7		64.7			
Pr>F Rep				0.07		0.61		0.21		0.28		0.10		0.46			
N				0.91		0.49		0.89		0.52		0.00		0.37			
P				0.56		0.35		0.65		0.57		0.15		0.06			
N*P				0.57		0.29		0.16		0.71		0.93		0.65			
K				0.18		0.42		0.22		0.65		0.14		0.19			
N*K				0.27		0.33		0.48		0.13		0.27		0.59			
P*K				0.24		0.24		0.03 *		0.45		0.77		0.47			
N*P*K				0.47		0.39		0.31		0.08		0.85		0.33			

Cuadro 16A. Efecto individual y de dos componentes de la fertilización química sobre la variable peso de piñas. El Coyul, Yautepec, Oax.

N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
Sin	con	%	sin	con	%	sin	con	%
54.9	57.8	105.2	55.8	56.8	101.7	51.7	60.9	117.7
N-P ₂ O ₅			N-K ₂ O			P ₂ O ₅ -K ₂ O		
0	NP	%	0	NK	%	0	PK	%
54.45	58.31	107	39.55	51.72	130.7	53.88	64.13	119

Cuadro 17A. Efecto individual y de dos componentes de la fertilización química sobre la variable peso de piñas. El Camarón, Yautepec, Oax.

N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
Sin	Con	%	sin	con	%	Sin	con	%
41.87	32.31	77.2	35.50	38.68	108.9	42.43	31.75	74.8
N-P ₂ O ₅			N-K ₂ O			P ₂ O ₅ -K ₂ O		
0	NP	%	0	NK	%	0	PK	%
38.62	32.25	83.5	49.37	29.12	58.9	41.37	33.87	81.8

Cuadro 18A. Precipitación pluvial (mm) de las estaciones climatológicas cercanas a los sitios experimentales.

Año	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	Anual
Etlá													
1999	0	0	0	26.8	47.0	106.8	97.4	179.2	123.1	143.0	0	0	723.3
2000	0	0	0.2	21.7	80.0	178.6	34.0	135.7	80.9	24.9	0	0	555.9
N	1	1.5	2.6	25.9	78.2	125.6	119.5	93.1	159.5	46.7	11.9	12.3	677.8
Tlacolula													
1999	5.0	0	0	0	10.0	39.0	30.0	7.0	35.0	35.5	0	0	161.5
2000	0	0	10.0	20.0	76.0	39.5	15.0	24.0	19.0	9.0	0	0	212.5
N	3.7	2.3	6.3	25.9	75.3	113.3	101.4	72.4	114.4	36.8	7.2	2.4	561.4
Yautepec													
1999	20.0	0	0	0	78.0	113.0	178.0	153.0	113.0	40.0	0	0	695.0
2000	X	X	X	12.0	90.0	192.0	65.0	54.0	220.0	57.0	0	0	690.0
N	4.7	2.5	1.5	14.7	45.5	128.3	118.6	103.7	129.0	54.1	5.8	0.9	609.3
Ejutla													
1999	0	0	21.0	47.0	58.5	118.9	202.0	300.5	227.5	62.0	1.0	0	1038
2000	0	0	8.0	62.0	125.0	142.0	31.0	157.5	160.0	57.0	0	5.0	747.5
N	0	0	0.8	9.3	87.4	145.4	80.7	75.5	162.6	50.1	2.2	0	614.0
Oaxaca													
1999	0	0	19.5	35.8	20.5	90.5	93.2	198.0	135.9	78.0	10.4	2.4	684.2
2000	0	0	25.9	65.7	214.3	81.7	30.3	86.9	158.1	7.6	0	0	670.5
N	6.3	2.4	5.9	36.2	98.5	138.0	84.9	78.8	133.3	52.7	5.5	2.8	645.3

Cuadro 19A. Temperaturas medias (°C) de las estaciones climatológicas cercanas a los sitios experimentales.

Año	E	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	Media
Etlá													
1999	18.0	19.5	21.0	23.1	23.3	22.1	20.6	21.4	20.4	19.1	17.1	16.5	20.1
2000	17.7	19.8	22.1	24.2	22.6	21.4	21.4	20.4	20.0	20.0	20.9	18.5	20.7
T	15.9	17.7	19.9	21.2	21.7	21.2	20.1	20.2	20.0	18.7	17.3	16.6	19.2
Tlacolula													
1999	22.1	22.8	24.9	27.7	27.9	26.5	X	X	X	X	X	X	25.3
2000	21.3	22.8	25.6	25.4	24.4	23.3	24.4	23.8	23.6	23.1	23.9	21.1	23.5
T	15.7	17.4	19.4	20.9	21.2	20.4	19.0	19.5	19.3	18.5	17.0	15.9	18.7
Yautepec													
1999	19.7	20.6	23.5	25.4	24.8	24.1	22.5	22.6	22.3	22.3	21.3	21.1	22.5
2000	19.6	21.8	23.8	23.5	23.3	21.0	22.7	22.3	22.6	22.4	21.9	20.1	22.0
T	20.9	21.8	23.8	25.5	26.5	25.5	24.5	24.7	24.1	23.2	22.3	21.1	23.7
Ejutla													
1999	20.2	20.9	24.6	26.3	22.7	20.4	20.1	20.4	19.0	16.8	14.6	13.1	19.9
2000	14.3	16.3	19.6	22.1	22.1	21.4	21.8	21.0	21.4	20.7	20.2	17.5	19.8
T	18.5	21.3	22.9	23.6	24.0	22.9	22.4	23.2	22.7	21.3	19.5	19.4	21.8
Oaxaca													
1999	16.9	18.3	20.5	22.7	22.7	21.9	20.0	20.4	20.0	19.1	17.0	15.8	19.6
2000	16.5	18.2	20.7	22.0	20.3	20.4	21.1	20.2	19.6	18.9	19.6	17.1	19.5
T	18.1	19.6	21.7	23.0	23.1	21.8	21.3	21.2	20.7	20.0	18.9	18.0	20.6