



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLÁS DE HIDALGO**  
División de Estudios de Posgrado

---



**PROGRAMA INSTITUCIONAL DE MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**FACULTAD DE BIOLOGÍA**

**ÁREA TEMÁTICA: FISIOLOGÍA Y GENÉTICA VEGETAL**

TESIS

**Efecto de las prácticas agrícolas y sistemas libres de agroquímicos en plantas  
de *Agave cupreata* y el efecto en hongos micorrízicos arbusculares.**

Que como requisito para obtener el grado académico de:

**Maestro en Ciencias Biológicas**

Presenta:

**Biól. Linda Yajahira Toledo Esquivel**

Asesor:

**D.C. Alejandro Martínez Palacios**

Co-asesora

**D.C. María del Pilar Ortega Larrocea**

**Morelia, Michoacán, México, a mayo de 2023**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia ♥ Sin su apoyo y amor, nada de esto sería posible. Gracias por estar siempre conmigo ♥

A mi asesor y co asesora, el Dr. Alejandro y la Dra. Pilar, que han sido mis guías, siempre dispuestos a resolver mis dudas con la mejor de las explicaciones. Gracias por sus valiosos conocimientos y, sobretodo, por su apoyo en múltiples formas, por su motivación y por contribuir a mi desarrollo profesional. Han sido los mejores ♥.

A los doctores de mi mesa sinodal, a la Dra. Mariela, el Dr. Bruno y el Dr. Cuauhtémoc. Han estado siempre presentes ayudándome con sus conocimientos en las diversas dudas que se me han presentado a lo largo del proyecto. Gracias por la paciencia que me han tenido y por el tiempo que me han dedicado. Valen mil ♥.

Al Sr. Ricardo Vargas, por permitirnos trabajar en su terreno, facilitándonos el desarrollo del proyecto, siempre con la mejor disposición y calidez humana ♥.

Al Sr. Félix, que siempre estuvo presente ante cualquier asunto relacionado con el proyecto en campo. Sin su ayuda, la tarea hubiera sido más compleja. Todo fue más sencillo con su presencia ¡Mil gracias! ♥.

A mis amigos. Carlos, Rogelio, Saira, Alexa y Karina. ¡No sé qué hubiera hecho sin su ayuda! ♥ Hicieron los días de campo más agradables, interesantes y divertidos. Gracias a Carlos Barbachano con su guía en el trabajo de laboratorio y a Tere por ayudarme cuando R se ponía delicado jaja ♥.

A Lili y al personal del posgrado ♥. Gracias por ayudarnos cuando todo se vuelve un caos con el papeleo y los trámites.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, institución en la que me he formado y que está llena de maestros increíbles, con una pasión tan bonita y contagiosa por su trabajo, que me han inspirado a ser tan genial como ellos ♥.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), gracias por la beca que recibí durante la maestría y por contribuir a la formación científica de maestros y doctores en las diversas áreas del conocimiento ♥.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN GENERAL .....	1
2. SUMMARY .....	3
3. INTRODUCCIÓN .....	4
4. MARCO TEÓRICO .....	6
4.1 Prácticas de manejo agrícola .....	6
4.1.1 Agroecología .....	6
4.1.2 Agroforestería .....	7
4.1.3 Agricultura orgánica .....	9
4.1.3.1 Fertilizantes orgánicos .....	10
4.1.4 Agrobiodiversidad.....	12
4.1.4.1 Las plantas como componentes de la agrobiodiversidad .....	13
4.1.4.2 Los hongos micorrízicos arbusculares .....	15
4.1.5 Prácticas agrícolas convencionales .....	19
4.1.5.1. Los agroquímicos en la agricultura convencional.....	22
4.1.5.1.1 Pesticidas.....	22
4.1.5.1.1.1 Herbicidas.....	24
4.1.5.1.1.1.1 Glifosato .....	25
4.1.5.1.2 Fertilizantes químicos .....	26
4.2 Prácticas e insumos agrícolas y su influencia en las plantas y los microorganismos del suelo .....	27
4.3 Propiedades del suelo que tienen influencia en los agaves y en los hongos micorrízicos arbusculares .....	31
4.4 <i>Agave cupreata</i> .....	32
4.4.1 Nombres vernáculos .....	32

4.4.2 Clasificación taxonómica de <i>Agave cupreata</i> .....	33
4.4.3 Características morfológicas .....	33
4.4.4 Biología reproductiva y floral .....	34
4.4.5 Distribución.....	35
4.4.6 Problemática .....	36
5. ANTECEDENTES.....	37
5.1 Plantaciones de especies del género <i>Agave</i> .....	37
5.2 Abundancia y diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en especies del género <i>Agave</i> .....	40
5.3 Efecto de los fertilizantes y de los hongos micorrízicos arbusculares en plantas del género <i>Agave</i> .....	43
6. JUSTIFICACIÓN .....	44
7. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	45
8. HIPÓTESIS .....	47
9. OBJETIVO GENERAL .....	48
9.1 Objetivos particulares .....	48
10. MATERIALES Y MÉTODOS .....	49
10.1 Sitio de estudio .....	49
10.2 Cultivo de <i>Agave cupreata</i> .....	50
10.3 Tratamientos establecidos en campo en 2019.....	51
10.4 Incremento en altura y diámetro de las plantas de <i>Agave cupreata</i> .....	53
10.5 Colonización micorrízica arbuscular en plantas de <i>Agave cupreata</i> .....	54
10.6 Abundancia y diversidad de esporas de HMA en suelo rizosférico de <i>Agave cupreata</i> .....	56

10.7 Daño causado por picudo negro ( <i>Scyphophorus acupunctatus</i> ) en las plantas de <i>Agave cupreata</i> .....	59
10.8 Análisis de datos .....	60
11. RESULTADOS .....	62
11.1 Incremento de altura y diámetro de las plantas de <i>Agave cupreata</i> en los diferentes tiempos de estudio .....	62
11.1.1 Periodo de lluvias (agosto 2021- octubre 2021) .....	62
11.1.2 Periodo de riego (octubre 2021- abril 2022) .....	66
11.1.3 Periodo agosto 2021-abril 2022. ....	70
11.1.4 Periodo agosto 2021- agosto 2022. ....	74
11.2 Colonización micorrízica arbuscular en las raíces de plantas de <i>Agave cupreata</i> .....	78
11.3 Abundancia y diversidad de esporas de HMA en suelo rizosférico de <i>Agave cupreata</i> .....	81
11.4 Daño causado por picudo negro ( <i>Scyphophorus acupunctatus</i> ) en las plantas de <i>Agave cupreata</i> .....	88
11.5 Supervivencia de las plantas de <i>Agave cupreata</i> .....	92
11.6 Relación de las propiedades fisicoquímicas del suelo y la abundancia y diversidad morfológica de HMA en los tratamientos glifosato, humus/poda y poda .....	95
12. DISCUSIÓN .....	97
12.1 Incremento de altura y diámetro de las plantas de <i>Agave cupreata</i> .....	97
12.2. Colonización micorrízica arbuscular en raíces de plantas de <i>Agave cupreata</i> .....	99
12.3 Abundancia y diversidad de esporas de HMA en suelo rizosférico de <i>Agave cupreata</i> .....	99

12.4 Daño causado por picudo negro ( <i>Scyphophorus acupunctatus</i> ) en las plantas de <i>Agave cupreata</i> .....	102
12.5 Supervivencia de las plantas de <i>Agave cupreata</i> .....	103
12.6 Relación de las propiedades fisicoquímicas del suelo y la abundancia y diversidad morfológica de HMA en los tratamientos glifosato, humus/poda y poda .....	103
13. CONCLUSIONES.....	107
14. LITERATURA CITADA.....	109
15. CRÉDITOS DE LAS IMÁGENES .....	129
16. APÉNDICE I. DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS .....	130
17. APÉNDICE II. ESQUEMA GRÁFICO DEL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS VARIABLES DE ESTUDIO Y LOS DIFERENTES TRATAMIENTO .....	136

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Tratamientos evaluados en campo. ....	53
<b>Cuadro 2.</b> Anova de la respuesta del incremento en altura de las plantas de <i>Agave cupreata</i> en los tratamientos del manejo de la vegetación durante agosto 2021- octubre 2022. ....	62
<b>Cuadro 3.</b> Anova de la respuesta del incremento en diámetro de las plantas de <i>Agave cupreata</i> en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica durante agosto 2021- octubre 2022.....	63
<b>Cuadro 4.</b> Anova de la respuesta del incremento en altura de las plantas de <i>Agave cupreata</i> en los tratamientos del manejo de la vegetación durante octubre 2021- abril 2022. ....	66
<b>Cuadro 5.</b> Anova de la respuesta del incremento en diámetro de las plantas de <i>Agave cupreata</i> en los tratamientos del manejo de la vegetación durante octubre 2021- abril 2022. ....	66
<b>Cuadro 6.</b> Anova de la respuesta del incremento en diámetro de las plantas de <i>Agave cupreata</i> en los tratamientos del manejo de la vegetación durante agosto 2021- abril 2022. ....	70
<b>Cuadro 7.</b> Anova de la respuesta del incremento en altura de las plantas de <i>Agave cupreata</i> en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica durante agosto 2021- abril 2022.....	71
<b>Cuadro 8.</b> Anova de la respuesta del incremento en diámetro de las plantas de <i>Agave cupreata</i> en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica durante agosto 2021- abril 2022.....	71

<b>Cuadro 9.</b> Anova de la respuesta del incremento en altura de las plantas de <i>Agave cupreata</i> en los tratamientos del manejo de la vegetación durante agosto 2021- agosto 2022. ....	74
<b>Cuadro 10.</b> Anova de la respuesta del incremento en diámetro de las plantas de <i>Agave cupreata</i> en los tratamientos del manejo de la vegetación durante agosto 2021- agosto 2022. ....	74
<b>Cuadro 11.</b> Anova de la respuesta del incremento en altura de las plantas de <i>Agave cupreata</i> en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica durante agosto 2021- agosto 2022. ....	75
<b>Cuadro 12.</b> Anova de la respuesta de la colonización micorrízica total en las raíces de plantas de <i>Agave cupreata</i> en los tratamientos del manejo de la vegetación durante agosto 2021. ....	79
<b>Cuadro 13.</b> Anova de la respuesta de la colonización micorrízica total en las raíces de plantas de <i>Agave cupreata</i> en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica durante agosto 2021. ....	79
<b>Cuadro 14.</b> Abundancia de esporas por morfotipo de suelos rizosféricos de <i>Agave cupreata</i> en los diferentes tratamientos de estudio. T1: glifosato, T2: glifosato/triple 16, T3: triple16/deshierbe, T4: humus/poda, T5: poda, T6: composta/poda y T7: deshierbe. ....	84
<b>Cuadro 15.</b> Índices de dominancia y uniformidad de los tratamientos de estudio. T1: glifosato, T2: glifosato/triple 16, T3: triple16/deshierbe, T4: humus/poda, T5: poda, T6: composta/poda y T7: deshierbe. ....	88
<b>Cuadro 16.</b> Evaluación del daño por picudo negro ( <i>Scyphophorus acupunctatus</i> ) y mortandad de plantas de <i>A. cupreata</i> en noviembre 2021. El número inicial de individuos por tratamiento fue de 90. Nivel 1: plantas sin daño. Nivel 6, daño severo. T1: glifosato, T2: glifosato/triple 16, T3: triple16/deshierbe, T4: humus/poda, T5: poda, T6: composta/poda y T7: deshierbe. ....	92

**Cuadro 17.** Supervivencia de plantas de *Agave cupreata* en los distintos periodos de evaluación y tratamientos de estudio. ....94

**Cuadro 18.** Resultados de los análisis de suelo de los tratamientos glifosato, humus/poda y poda, del número promedio de esporas de HMA en 100 g de suelo y de los índices de diversidad. ....96

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Apariencia general de <i>Agave cupreata</i> , especie endémica de México. Fotos: Toledo-Esquivel, 2021. ....	34
<b>Figura 2.</b> Sitio de estudio ubicado en la Hacienda de Queréndaro, municipio de Queréndaro, Michoacán. ....	50
<b>Figura 3.</b> Distancias entre las hileras de plantas de <i>A. cupreata</i> y la alfalfa plantada por el productor. En el esquema de la derecha se utilizaron imágenes de la web, ver créditos de las imágenes. Fotografías de la izquierda, Toledo-Esquivel, 2021. ....	51
<b>Figura 4.</b> Medición de las variables de crecimiento de plantas de <i>A. cupreata</i> en campo. Fotos: Toledo-Esquivel, 2021. ....	54
<b>Figura 5.</b> Recolecta de raíces secundarias y suelo cercano a la rizosfera de <i>Agave cupreata</i> . Fotos: Toledo-Esquivel, 2021. ....	54
<b>Figura 6.</b> Evaluación de la colonización micorrízica arbuscular en raicillas de <i>Agave cupreata</i> . Fotos: Toledo-Esquivel, 2021. ....	56
<b>Figura 7.</b> Esquema del método de tamizado húmedo y decantación (Gerdemann y Nicolson, 1963). Fotos: Toledo-Esquivel, 2021. ....	57
<b>Figura 8.</b> Daños causados por picudo negro ( <i>Scyphophorus acupunctatus</i> ), en plantas de <i>Agave cupreata</i> . Fotos: Toledo-Esquivel, 2021. ....	59
<b>Figura 9.</b> Incremento de altura en plantas de <i>Agave cupreata</i> durante el periodo agosto 2021-octubre 2021. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo	

un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar. .... 64

**Figura 10.** Incremento de diámetro en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo agosto 2021-octubre 2021. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar. .... 65

**Figura 11.** Incremento de altura en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo octubre 2021-abril 2022. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar. .... 68

**Figura 12.** Incremento de diámetro en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo octubre 2021-abril 2022. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar. .... 69

**Figura 13.** Incremento de altura en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo agosto 2021-abril 2022. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16),

humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar. .... 72

**Figura 14.** Incremento de diámetro en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo agosto 2021-abril 2022. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar. .... 73

**Figura 15.** Incremento de altura en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo agosto 2021-agosto 2022. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar. .... 76

**Figura 16.** Incremento de diámetro en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo agosto 2021-agosto 2022. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar. .... 77

**Figura 17.** Micorrización arbuscular en *Agave cupreata*. Presencia de hifas (H), vesículas (V) y esporas (E). a) Tratamiento glifosato/triple 16; b) Tratamiento humus/poda; c) Tratamiento deshierbe y d) Tratamiento humus/poda. Recolecta de raíces efectuada en agosto, 2021. .... 78

**Figura 18.** Colonización micorrízica de HMA en plantas de *Agave cupreata* durante agosto 2021. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar. .... 80

**Figura 19.** Diversidad de morfotipos de esporas de HMA encontrados en el suelo rizosférico de plantas de *Agave cupreata* sometidas a los diferentes tratamientos de estudio, en la Hacienda de Queréndaro, Michoacán. .... 82

**Figura 20.** Abundancia promedio de esporas de HMA en suelos rizosféricos de *Agave cupreata* durante agosto 2021. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar. .... 83

**Figura 21.** Abundancia de esporas totales por morfotipos en los tratamientos del manejo de la vegetación: glifosato, poda y deshierbe. .... 85

**Figura 22.** Abundancia de esporas totales por morfotipos en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica: humus/poda, poda y composta/poda. .... 86

**Figura 23.** Abundancia de esporas totales por morfotipos en los tratamientos bajo un sistema de deshierbe con y sin triple 16: triple 16/deshierbe y deshierbe. .... 87

**Figura 24.** Abundancia de esporas totales por morfotipos en los tratamientos bajo un sistema de glifosato con y sin triple 16: glifosato y glifosato/triple 16. .... 87

**Figura 25.** Daño promedio de picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus*) en plantas de *Agave cupreata* durante noviembre 2021. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar..... 90

**Figura 26.** Daño promedio de picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus*) en plantas de *Agave cupreata* durante abril 2021. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar. .... 91

**Figura 27.** Supervivencia de plantas de *Agave cupreata* bajo los distintos tratamientos de estudio. El mes 0, representa al mes de junio de 2020, periodo en el que se establecieron los tratamientos. El mes 14, corresponde a agosto 2021, primera evaluación de este trabajo. El mes 16, octubre 2021; mes 22, abril 2022 y mes 26, agosto 2022. .... 93

**Figura 28.** Supervivencia de plantas de *Agave cupreata* y su diferenciación entre los tratamientos de estudio. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), glifosato/triple 16 (G/T16), triple 16/deshierbe (T16/D), humus/poda (H/P), poda (P), composta/poda (C/P) y deshierbe (D). Las barras de error muestran el error estándar. .... 94

## 1. RESUMEN GENERAL

En plantaciones de agaves bajo un manejo convencional con uso de agroquímicos, se han detectado diversas plagas y enfermedades que afectan el desarrollo y supervivencia de las plantas. A nivel mundial, existen investigaciones en las que se sustenta que estas prácticas perjudican el suelo, el agua y la salud humana. El suelo pierde su fertilidad, aumenta su erosión y se reduce la biomasa y diversidad de las especies que lo habitan, tales como los hongos micorrízicos arbusculares (HMA). Es por ello que se debe optar por prácticas que disminuyan estos daños. En el presente trabajo se estudiaron siete tratamientos, tres pertenecientes al manejo convencional con uso de agroquímicos: glifosato (G), glifosato/triple 16 (G/T16) y triple 16/deshierbe (T16/D); y cuatro correspondientes a prácticas sin uso de agroquímicos con manejo de arvenses y aplicación de fertilización orgánica: humus/poda (H/P), poda (P), composta/poda (C/P) y deshierbe (D); con el objeto de evaluar sus efectos sobre la altura, diámetro y supervivencia de las plantas de *Agave cupreata*, así como la incidencia de picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus*). De igual forma, se evaluaron los impactos que tienen sobre la abundancia y diversidad morfológica de los HMA. Los resultados muestran que las plantas tuvieron un mayor crecimiento con el uso de G, una menor colonización micorrízica y abundancia de esporas de HMA, en relación a los tratamientos de P y D. Los tratamientos C/P y D, presentaron una mayor abundancia de esporas en comparación con H/P y T16/D, respectivamente. Los índices de diversidad muestran una mayor equitatividad de los morfotipos de los HMA en el tratamiento de G, mayor dominancia en el de C/P y mayor riqueza específica en el tratamiento de P. En general, los tratamientos con agroquímicos presentaron un mayor daño por picudo negro, especie de importancia económica para el agave. En relación a la supervivencia, el tratamiento con G presentó una supervivencia del 76%, siendo significativamente inferior a los tratamientos de P (97.78%) y C/P (98.89%).

**Palabras clave:** Agroecología, glifosato, *Scyphophorus acupunctatus*, agricultura, arvenses.

## 2. SUMMARY

In agave plantations under conventional management with the use of agrochemicals, various pests and diseases have been detected that affect the development and survival of the plants. Worldwide, there is research that supports that these practices harm the soil, water and human health. The soil loses its fertility, its erosion increases and the biomass and diversity of the species that inhabit it, such as arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), are reduced. That is why practices that reduce these damages should be chosen. In the present work, seven treatments were studied, three belonging to conventional management with the use of agrochemicals: glyphosate (G), glyphosate/triple 16 (G/T16) and triple 16/weeding (T16/W); and four corresponding to practices without the use of agrochemicals with weed management and organic fertilization application: humus/pruning (H/P), pruning (P), compost/pruning (C/P) and weeding (W); in order to evaluate its effects on the height, diameter and survival of *Agave cupreata* plants, as well as the incidence of black weevil (*Scyphophorus acupunctatus*). Similarly, they evaluated the impacts they have on the abundance and morphotypic diversity of AMF. The results show that the plants had a greater growth with the use of G, a lower mycorrhizal colonization and abundance of AMF spores, in relation to the treatments of P and W. The treatments C/P and W, presented a greater abundance of spores compared to H/P and T16/W, respectively. The diversity indices show a greater evenness of the AMF morphotypes in the G treatment, greater dominance in the C/P treatment, and greater specific richness in the P treatment. In general, the treatments with agrochemicals presented greater damage by black weevil, species of economic importance for the agave. In relation to survival, the treatment with G presented a survival of 76%, being significantly lower than the treatments of P (97.78%) and C/P (98.89%).

**Keywords:** Agroecology, glyphosate, *Scyphophorus acupunctatus*, agriculture, weeds.

### 3. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, los campos agrícolas han sido escenario del uso indiscriminado de agroquímicos (Ghorbani *et al.*, 2009; Martínez-Ghersa, 2011). La agroquímica actual enfrenta un gran reto, ya que debe garantizar que los compuestos activos proporcionen un control sustentable de diferentes especies de plagas, patógenos agrícolas y malezas (Jeschke, 2016). Pero esta es una realidad que no se ve reflejada en los campos agrícolas. En el caso del nitrógeno aplicado en las tierras de cultivo con manejo intensivo, la mayor parte de este compuesto no es aprovechado por la planta por lo que se pierde desde el 50 hasta el 75% por lixiviación en el suelo (Raun y Johnson, 1999; Hirel *et al.*, 2011). Este uso y pérdida excesivos de agroquímicos, tiene consecuencias importantes que provocan una merma en la fertilidad de los suelos, favorecen la presencia de plagas y enfermedades, contaminan el agua y los suelos afectando a los organismos que viven ellos (D'Abrosca *et al.*, 2008; Yamamoto *et al.*, 2009; Hayes *et al.*, 2017).

Actualmente, es una práctica común establecer sistemas de monocultivos con el uso de agroquímicos en algunas especies agrícolas de nuestro país (Martínez-Palacios *et al.*, 2015). En plantaciones de agave, y en cultivos que abarcan grandes extensiones de suelo, como la soja, ha existido un incremento continuo en la aplicación de pesticidas, que son sumamente contaminantes, difíciles de degradar y que generan gastos económicos importantes por su aplicación continua (Martínez-Ghersa, 2011; Del Rio Mora, 2015). Por tanto, es preciso optar por alternativas más amigables (Martínez-Palacios *et al.*, 2015b) que eviten la labranza, los deshierbes o la quema de las hierbas.

En el suelo se encuentra una gran diversidad de organismos (Swift *et al.*, 2012), como las bacterias y los hongos, que promueven el crecimiento vegetal (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2006; Neri-Luna y Villarreal-Ruiz, 2012). Un estudio realizado en el año 2005, sugiere que los organismos del suelo pueden afectar el fenotipo de las plantas, induciendo así su tolerancia a herbívoros y patógenos (Blouin *et al.*, 2005). Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) establecen simbiosis con el 80% de

las plantas (Giovannetti y Sbrana, 1998; Vierheilig, 2004). Los beneficios que les brindan a las plantas son inmensos en la nutrición y el control de enfermedades (Smith y Read, 2008; Hodge *et al.*, 2010). Estos organismos pueden ser afectados por pesticidas y en el caso de los fertilizantes, una concentración de nutrientes superior a la tolerancia de los microorganismos termina siendo tóxico (Römheld, 2012). Además, las plantas son propensas a enfermedades y plagas cuando se encuentran en suelos con altos contenidos de N-P-K (Ghorbani *et al.*, 2009).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue el evaluar en campo la respuesta de las plantas de *Agave cupreata* y de los hongos micorrízicos arbusculares ante prácticas de manejo agrícola y sistemas libres de agroquímicos con manejo de arvenses y fertilización orgánica.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 Prácticas de manejo agrícola

Las diferentes prácticas agrícolas tienden a la simplificación del agroecosistema y a una seria reducción su biodiversidad. Muchos agrónomos conservan la idea de que el único ser vivo que debe prevalecer en el sistema agrícola debe ser el cultivo de interés. Sin embargo, en la actualidad, la importancia de la biodiversidad en los agroecosistemas, está siendo revalorizada (Sarandón, 2002; 2010;).

Existen diferentes estilos de hacer agricultura con diferencias notables entre ellos (Sarandón, 2010; Martin *et al.*, 2020). Por ejemplo, la agricultura actual se caracteriza por ser uniforme en varios niveles (a nivel genético, de parcela, de finca, de región y de paisajes) y pueden existir regiones en las que solo se cultiva un híbrido de determinada especie, debido a que ni siquiera se permite el crecimiento de la vegetación espontánea o de las llamadas malezas (Sarandón, 2002; 2010). En contraste, hay formas de hacer agricultura que reducen, en la medida de lo posible, los impactos causados al medio ambiente, porque aumentan la diversificación biológica y de los cultivos, conservan el suelo, favorecen el conocimiento local y las técnicas tradicionales sobre la alta tecnificación de aplicación global, entre otros (Altieri, 1999a, Farrell y Altieri, 1999; Gliessman, 2002; 2007, FAO, 2006; FAO, 2021a).

#### 4.1.1 Agroecología

Es una disciplina que pretende que la agricultura esté más ligada al medio ambiente así como a la sociedad, busca la productividad del sistema agrícola, su sostenibilidad ecológica y viabilidad económica (Altieri, 1999a; Gliessman, 2002). De forma concreta se define como una “*ciencia que aplica conceptos y principios ecológicos para el diseño y manejo de agroecosistemas sostenibles*” (Gliessman,

2002). Se centra en la idea de que los campos agrícolas son ecosistemas en los que también ocurren procesos ecológicos como el ciclado de nutrientes, la depredación o la competencia. Integra ideas y métodos de diversos sub-campos del conocimiento, siendo más que una disciplina específica (Altieri, 1999a). Aplica los principios ecológicos en el manejo y gestión de los agroecosistemas, proporcionando las herramientas necesarias para el entendimiento del flujo de sus componentes (Gliessman *et al.*, 2007; Sarandón y Flores, 2014). Demuestra contar con alternativas que enfrenten la erosión, la contaminación, el uso excesivo de fertilizantes, plaguicidas, entre otros, que puedan afectar el desarrollo sostenible de los agroecosistemas (Gliessman *et al.*, 2007).

Un agroecosistema es aquel lugar de producción agrícola que ha sido conceptualizado como un ecosistema (Gliessman, 2002). Hart (1985), lo define como “*un ecosistema que cuenta, por lo menos, con una población de utilidad agrícola*”. Están íntimamente ligados a los ecosistemas naturales, y por ello todo lo que se haga en los sistemas agrícolas repercutirá en la diversidad biológica natural (Sarandón, 2010). Los agroecosistemas nos proveen de alimentos y fibras, favorecen la diversidad biológica, de la dieta y de los ingresos; reducen la incidencia de enfermedades, se maximizan los rendimientos sin contar con alta tecnología, se estabiliza e intensifica la producción con pocos insumos, se minimizan los riesgos y se hace un uso eficiente de la mano de obra (Altieri, 1999b; Sarandón, 2002).

#### **4.1.2 Agroforestería**

La agroforestería ha sido definida como un tipo de cultivo múltiple, en el que por lo menos debe de haber dos especies interaccionando biológicamente. Como mínimo, debe encontrarse una planta leñosa perenne y otra destinada para fines agrícolas, así sea esta un pasto (Somarriba, 1990; Nair, 1991; FAO, 2021a). También se considera como la “*práctica de incluir árboles en los agroecosistemas de producción de cultivos o animales*” (Gliessman, 2002). En otras palabras, es un sistema que acopla elementos de la agricultura con aquellos de forestería (Farrell y

Altieri, 1999). Algunos autores consideran al ganado en las prácticas agroforestales (Farrell y Altieri, 1999), aunque también se dice que no es una condición que sea determinante en la conceptualización de la agroforestería (Somarriba, 1990; Nair, 1991).

La agroforestería se práctica desde hace ya muchos años y varía dependiendo del contexto ambiental, económico, social y cultural, así como de las necesidades y de la capacidad de las personas que se encuentran en una región u otra (FAO, 2021a). A nivel mundial, existen diferentes tipos, como la taungya (plantaciones bajo árboles mientras la sombra de estos no se incrementa) y los cultivos en callejones (árboles sembrados en hileras con cultivos sembrados entre las hileras) (Nair, 1991; FAO, 2021a).

Se ha reportado que los sistemas agroforestales tropicales contienen más de 100 especies de plantas anuales y perennes, usadas con fines medicinales, de construcción, de combustible, de herramientas y como fuente de alimentos para el ganado y el ser humano (Altieri, 1999b).

Las prácticas de agroforestería proveen de diversos servicios ambientales como la mejora del contenido de carbono orgánico, control de las plagas, estabilización del suelo y control de su erosión, purificación del aire, mejora de la calidad del agua, favorecimiento de la disponibilidad de nutrientes, así como de la biodiversidad del suelo, entre otros (Jose, 2009; Barrios *et al.*, 2012; Dollinger y Jose, 2018; Kuyah *et al.*, 2019). Así mismo, a largo plazo se espera que la productividad se mantenga sin la degradación de los suelos (Farrell y Altieri, 1999). Para los pequeños agricultores, este tipo de sistema puede ser particularmente importante, porque éstos les brindan productos y servicios en un terreno limitado, útil en lugares marginados favoreciendo el uso de pocos insumos (Farrell y Altieri, 1999; FAO, 2021a).

Es importante destacar que las prácticas agroforestales en terrenos abiertos tienen impactos benéficos en los servicios ecosistémicos y en la diversidad

biológica. En contraste, la agroforestería derivada de bosques, disminuye estos beneficios (Martin *et al.*, 2020).

#### **4.1.3 Agricultura orgánica**

Es un tipo de agricultura que busca maximizar los recursos que el productor posee, favoreciendo la independencia de insumos externos; trata de realizar el menor impacto posible al ambiente y evita poner en riesgo la salud, tanto del productor como del consumidor (Herrán *et al.*, 2008). La agricultura orgánica prohíbe el uso de fertilizantes químicos nitrogenados, herbicidas sintéticos, sustancias químicas que promuevan el crecimiento vegetal u otros agroquímicos, basándose en la aplicación de abonos orgánicos, así como de prácticas que mantengan el equilibrio ecológico (Rodrigues *et al.*, 2006; Vázquez y Sánchez, 2009). En conclusión, la agricultura orgánica debe enfocarse en mantener la diversidad estructural y de procesos, así como del manejo y nutrición del suelo, en especial con el aporte de materia orgánica y de un apropiado manejo ecológico del suelo (Gliessman, 2002; Brenes, 2003). Busca tener un enfoque preventivo antes que uno correctivo, combatiendo las causas que dan origen al problema. Para su desarrollo, es importante la combinación de los conocimientos del agricultor y los desarrollados por la ciencia, así como la experiencia del campesino y los análisis de especialistas en diversas áreas de la agronomía. Sin embargo, como en otras prácticas agrícolas, también se presentan problemáticas en la agricultura orgánica, que es más que solo volver a la agricultura que hacían nuestros ancestros. En ocasiones se dificulta la rotación de cultivos y los policultivos, en especial en la agricultura orgánica que se enfoca en la exportación, lo cual evita la diversidad y el control de las plagas (Brenes, 2003).

En la actualidad, este tipo de agricultura se practica en 181 países utilizándose una extensión de 69.8 millones de hectáreas a nivel mundial, siendo Australia el país que cuenta con una mayor cantidad de superficie destinada a este fin (Willer y Lernoud, 2019).

#### 4.1.3.1 Fertilizantes orgánicos

La materia orgánica es usada en la agricultura orgánica como parte del manejo y nutrición del suelo (Brenes, 2003). Existen diversas sustancias que se pueden agregar al suelo con el propósito de mejorar sus propiedades y a la vez adicionar nutrientes, como los desechos orgánicos, harina de roca, los caldos minerales y la materia orgánica humificada (Herrán *et al.*, 2008). Lo anterior es importante, ya que la disminución de la fertilidad de los suelos agrícolas en las últimas décadas resulta alarmante. Esta pérdida de la fertilidad va de la mano con la pérdida de materia orgánica en el suelo, que es provocada por prácticas agrícolas intensivas (Acosta-Martinez *et al.*, 2004; Gajic *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2006; Rose *et al.*, 2014).

La materia orgánica en el suelo es la responsable directa de la mayoría de los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo (Aguilera, 2000). Se encuentra en un estado activo de descomposición y está sujeta al ataque de los microorganismos que habitan el suelo (Buckman *et al.*, 1977), siendo su sustrato principal (Gliessman, 2002; Verhulst *et al.*, 2015; Dollinger y Jose, 2018). En los ecosistemas naturales puede hallarse entre un 15 a 20% de materia orgánica, aunque la mayoría de los suelos suelen contener entre 1 a 5% (Gliessman, 2002). Se encuentra conformada por materiales muy diversos, que pueden dividirse en componentes vivientes y no vivientes. Entre los primeros se encuentran las raíces de las plantas, los microorganismos y la fauna del suelo, mientras que entre los componentes inertes se incluyen la hojarasca, las raíces e hifas muertas, metabolitos de origen microbiano, excretas y las sustancias húmicas. Cabe resaltar que la materia orgánica inerte se encuentra en mayor proporción (Gliessman, 2002). Es destacable que las plantas superan por mucho la cantidad de materia orgánica aportada por los animales (FitzPatrick, 1984). Ahora bien, el humus es el resultado de la descomposición de la materia orgánica. Su calidad depende de la materia orgánica que la constituye, siendo mayor su contenido de nutrientes y de microorganismos cuando los materiales que le dan origen son más variados (Herrán *et al.*, 2008). Sin embargo, el uso de productos comerciales con sustancias húmicas

varía y muchas personas dudan de su eficacia. Esto debido a que sus propiedades fisicoquímicas varían de acuerdo al método de extracción y a la matriz ambiental que les dio origen. De igual forma, es común que estos productos contengan nutrientes vegetales añadidos, por lo que los efectos observados no pueden atribuirse totalmente a las sustancias húmicas (Rose *et al.*, 2014). La disponibilidad de las sustancias húmicas va en aumento, sin embargo, los efectos sobre el crecimiento vegetal pueden ser positivos o negativos y difíciles de predecir (Feibert *et al.*, 2003; Hartz y Bottoms, 2010; Quilty y Cattle, 2011).

La disminución de la materia orgánica desencadena cambios en los agregados del suelo (Gajic *et al.*, 2006), en su capacidad de retener agua y nutrientes, y en el aumento la densidad aparente, lo que a su vez conlleva a la disminución de la actividad biológica y a un incremento en la compactación del suelo, formándose una capa conocida como “piso de arado” (Gliessman, 2002; Martínez-Trinidad, 2008). Por ejemplo, se ha encontrado que el cultivo intensivo aumenta el tamaño de los agregados del suelo, ya que se forman terrones, por lo que se pierden los agregados agrónomicamente valiosos, 0.25 a 10 mm (Gajic *et al.*, 2006; Martínez-Trinidad, 2008).

La incorporación de enmiendas orgánicas incrementa el contenido de carbono en el suelo, mejora la estabilidad de los agregados (Annabi *et al.*, 2011), aumenta la granulación del suelo y la capacidad de retención de agua, reduce la plasticidad y cohesión del suelo, es una fuente de abastecimiento y de asimilación de nutrientes (Waksman, 1936; Buckman *et al.*, 1977; Herrán *et al.*, 2008), propicia una intensa actividad microbiana y el crecimiento de sus poblaciones, incrementa los microorganismos benéficos del suelo reduciendo las poblaciones de patógenos (Waksman, 1936; Baver *et al.*, 1973; Farrell y Altieri, 1999; Herrán *et al.*, 2008), incrementa los contenidos de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{Mn}$ , reduce la densidad aparente (Bulluck *et al.*, 2002), aumenta la capacidad de intercambio catiónico (Buckman *et al.*, 1977, Bulluck *et al.*, 2002), estimula el crecimiento vegetal (Waksman, 1936; Herrán *et al.*, 2008), mejora la capacidad supresora del suelo (Hoitink *et al.*, 1997),

facilita la sorción de sustancias dañinas, tales como los plaguicidas (Iglesias-Jiménez *et al.*, 1997; Gan *et al.*, 1998; Worrall *et al.*, 2001; Fernández *et al.*, 2006)

Es importante tener en mente que no todas las enmiendas orgánicas se comportan de manera similar en términos de su liberación. Por ejemplo, el estiércol fresco aporta nitrato en el breve tiempo, sin embargo, no brinda los beneficios que a la larga otorga una composta (Brenes, 2003).

#### **4.1.4 Agrobiodiversidad**

La agrobiodiversidad es un subconjunto de la diversidad biológica, en la que se engloban animales, plantas, hongos y microorganismos domesticados, así como a sus parientes silvestres, que interactúan con los de interés humano. El conocimiento y la cultura local también son componentes importantes dentro de ella (FAO, 2006; Jackson *et al.*, 2007; Akuja, 2011), así como las formas en que los agricultores utilizan los recursos biológicos para gestionar y producir tierras de cultivo (Altieri, 1991). Se puede decir que la agrobiodiversidad es “*la biodiversidad presente en los agroecosistemas*” (Thrupp, 2004; Sarandón, 2010).

La conforman las interacciones que tienen con los pueblos humanos y con el entorno en el que se desarrollan, tomándose en cuenta a los microorganismos del suelo, los polinizadores, a sus depredadores, entre otros (FAO, 2006; CONABIO, 2017). En términos generales, la agrobiodiversidad es fruto de los procesos de la selección natural, así como del cuidado y manejo que campesinos, pescadores y pastores han hecho (FAO, 2006; Akuja, 2011).

Su importancia radica en que se ha demostrado su colaboración en la disminución de la presión que se ejerce tanto en ambientes delicados como en especies que se encuentran en peligro de extinción, además favorece a los sistemas agrícolas haciéndolos más sustentables; contribuye al adecuado manejo de plagas y de enfermedades, maximiza eficazmente la productividad del suelo y los recursos, disminuye la homogeneidad de los productos siendo esto benéfico tanto para la

seguridad alimentaria de un país como para la mejora de la nutrición humana (Kahane *et al.*, 2013). Además, conserva la fertilidad del suelo y la estructura de los ecosistemas, conserva e innova los conocimientos locales, se favorece el desarrollo de técnicas propias de cada comunidad, entre otras (FAO, 2006; Akuja, 2011; Sánchez y Villegas, 2015).

#### **4.1.4.1 Las plantas como componentes de la agrobiodiversidad**

Las hierbas en los cultivos, también llamadas malezas o plantas arvenses, son elementos de suma importancia en los sistemas agrícolas, forman parte de la dieta de diversos herbívoros (ya estén estos en la superficie como en el interior del suelo); son el hábitat de diversas especies (arácnidos, reptiles, insectos, vertebrados, etc.), que mantienen bajo control a otras, evitando así la presencia de enfermedades y plagas; son fuente de alimentos para diversos polinizadores y herbívoros, proveen de sitios de reproducción, disminuyen el lixiviado de nutrientes, aumentan la eficiencia en la captación de energía (aumentan la acumulación de carbono en el sistema), proporcionan cobertura, protección al suelo contra la erosión, ayudan al mantenimiento de su estructura y materia orgánica gracias a los residuos que produce, los cuales a su vez, son fuente de alimento para los microorganismos, cuya actividad formará compuestos de humus (Baver *et al.*, 1973; Altieri, 1999b; Farrell y Altieri, 1999; Sarandón, 2002; Marshall *et al.*, 2003; Andujar, 2013). Sin embargo, en el manejo de las hierbas es importante considerar los costos de la mano de obra para su control, la competencia y la alelopatía. Pese a ello, los beneficios que aportan las hierbas pueden ser más grandes que los daños provocados por la competencia (Brenes, 2003). Recientemente se están dejando de ver como indeseables en los cultivos y más como aliadas que forman parte de los agroecosistemas en donde proveen de diversos servicios (Andujar, 2013).

Es reconocida la importancia de la diversidad biológica, tanto en los ecosistemas como en los agroecosistemas, debido a que los dota de diversas funciones biológicas como la protección contra plagas, el ciclado de nutrientes y la

desintoxicación de sustancias nocivas (Altieri, 1999b). Existe evidencia de que una mayor diversidad en los sistemas agrícolas mejora la protección de los cultivos ante las plagas y los hace más sostenibles en términos de conservación (Altieri, 1999b; Marshall *et al.*, 2003)

En el caso de los árboles, se ha observado que ejercen influencia en las características del suelo, en el microclima, la hidrología y sobre los organismos que habitan el suelo. Además, sus raíces pueden alcanzar nutrientes lixiviados que las plantas con raíces más pequeñas no pueden interceptar (Farrell y Altieri, 1999). Así mismo, son el hábitat de aves y de otros animales, los cuales brindan beneficios para los agricultores, tales como el control de plagas de insectos y la dispersión de las semillas (Thrupp, 2004).

Las raíces de las plantas contribuyen a la cantidad de residuos producidos y coadyuvan en la formación de agregados estables (Baver *et al.*, 1973; Six *et al.*, 2004), mejoran la aireación del suelo, la filtración del agua (Farrell y Altieri, 1999) y el carbono liberado por ellas puede ser de vital importancia para el almacenamiento de este elemento en el suelo (Verhulst *et al.*, 2015). La influencia de las raíces en la agregación y estructura del suelo se logra por medio de la penetración de las raíces al suelo, la modificación del régimen hídrico, la producción de exudados, el entrelazamiento de los agregados por medio de las raíces y la descomposición de las raíces muertas (Six *et al.*, 2004). Sin embargo, uno de los factores que afecta el desarrollo de las raíces es el manejo agronómico, en donde se realiza la labranza convencional, lo cual lleva al declive de parámetros relacionados con la estructura del suelo (Ramírez *et al.*, 2006). Caso contrario a cuando se realiza labranza mínima, siembra directa y agricultura de conservación, ya que bajo estos manejos se ha observado un mayor desarrollo radicular e incremento de parámetros asociados a la estructura y agregación del suelo (Shaxson y Barber, 2003; Bronick y Lal, 2005; Govaerts *et al.*, 2006). Así mismo, es notable que el carbono orgánico del suelo incrementa al pasar de una de labranza convencional a una práctica de cero labranza (Verhulst *et al.*, 2015).

Ahora bien, en todas las plantaciones, existen residuos de cultivo (que pueden variar según el tipo de cultivo, la variedad o el rendimiento) y de malezas. Ambos tipos, contribuyen a mantener la cobertura del suelo (Shaxson y Barber, 2008). Al hacer uso de residuos en campos con cero labranzas, se favorece la retención de la humedad del suelo, por lo que se ahorra agua destinada para el riego (Gliessman, 2002; Verhulst *et al.*, 2015). De igual manera se ha constatado una mayor distribución de las raíces de manera horizontal, así como una mayor densidad de las mismas cerca de la superficie del suelo (Verhulst *et al.*, 2015). Cabe destacar que, generalmente, las variedades mejoradas producen menos residuos de cosecha que las tradicionales (Shaxson y Barber, 2008).

Es importante considerar que las plantas no deseadas en los cultivos convencionales surgen a raíz de la labranza, de los deshierbes, de la quema de los residuos, de la resistencia a los agroquímicos y en general a las condiciones de manejo y de estrés a las que están sujetas los cultivos, ya que resisten mejor estas condiciones y por ende se vuelvan dominantes en las parcelas (Martínez-Palacios *et al.*, 2015). En un estudio comparativo de surgimiento de malezas en cultivos orgánicos y tradicionales, se constató que el manejo orgánico favoreció la diversidad de malezas, particularmente aquellas de hoja ancha. Aunado a esto, se vio favorecida la presencia de polinizadores, diferenciando sustancialmente ambos sistemas (Romero *et al.*, 2008).

#### **4.1.4.2 Los hongos micorrízicos arbusculares**

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) pertenecientes al grupo de los Glomeromycota, establecen simbiosis con el 80% de las plantas terrestres (Giovannetti y Sbrana, 1998; Schüßler, *et al.*, 2001; Vierheilig, 2004), se encuentran dentro de las endomicorrizas ya que forman arbusculos y vesículas en algunas especies, en otras, además forman hifas dentro de las células corticales de la raíz (Douds y Millner, 1999; Curtis *et al.*, 2008). La función de los arbusculos es contribuir en el incremento de la absorción y aprovechamiento de los nutrimentos entre los

hongos y las plantas (Arias *et al.*, 2008; Smith y Read, 2008), mientras que las vesículas, son estructuras que se encargan de almacenar reservas para el simbionte fúngico, las cuales podrá utilizar en caso de escasez de recursos. Estas estructuras no se registran en los géneros *Gigaspora* Gerd. & Trappe y *Scutellospora* Walker & Sanders, las cuales en su lugar, forman células auxiliares (Alarcón y Cerrato, 1999). Los HMA se distribuyen en todos los ecosistemas y suelos, y pueden ser muy heterogéneos en un mismo sitio en cuanto a diversidad y abundancia, lo que es un requisito importante para que la planta obtenga el máximo beneficio de la asociación (Sieverding, 1986). Se considera que representan entre el 5 - 36% de la biomasa del suelo y entre el 9 -55% del total de los microorganismos que viven en él (Olsson *et al.*, 1999). La asociación simbiótica (micorriza), actúa como una extensión de la raíz de la planta en la toma de nutrientes como P, Cu, Zn y en menor cantidad N (Colozzi-Filho y Cardoso, 2000; Requena *et al.*, 2007; Smith y Read, 2008; Hodge *et al.*, 2010). Por medio de ellas, las plantas pueden obtener hasta un 50% del fósforo que necesitan (Ramírez Carvajal, 1997), siendo esto valioso en la agricultura, ya que el micelio extrarradical constituye un enlace entre las plantas y el suelo (Blanco y Salas. 1997). Los HMA facilitan la tolerancia de las plantas a condiciones de estrés abiótico y biótico, las protegen contra patógenos (Newsham *et al.*, 1995), participan en el mejoramiento de la calidad, estructura y estabilización del suelo (Barea *et al.*, 2005; Smith y Read, 2008), en la retención de agua, aumento de la diversidad y productividad de las plantas en un ecosistema (Van Der Heijden *et al.*, 1998; Noda, 2009; Neri-Luna y Villarreal-Ruiz, 2012). A su vez, la planta le otorga entre un 3 a un 20% de los fotosintatos que produce (Jakobsen y Rosendahl, 1990; Finlay y Söderström, 1992; Johnson *et al.*, 2002), dada su condición de organismo heterótrofo, lo cual le permite mantener su metabolismo. Al actuar como simbioses, son capaces de aumentar la productividad en los cultivos hasta en un 25% (Honrubia, 2009; Noda, 2009). La asociación micorrízica está regulada por cinco factores principalmente, siendo estos la alteración del suelo, las propiedades de la raíz, los factores edáficos y climáticos, los organismos que habitan el suelo y la compatibilidad entre la planta huésped y el hongo (Brundrett, 1991; Entry *et al.*, 2002).

Por otra parte, se ha demostrado que las plantas experimentan una serie de cambios bioquímicos y fisiológicos diferentes a los que son observados cuando los microorganismos del suelo empiezan a colonizarlas. El hongo libera sustancias, dentro de tipo de las estrigolactonas, que son reconocidos por la planta para que inicie el favorecimiento de la colonización radical (Gadkar *et al.*, 2001). Además, la planta libera exudados (compuestos de naturaleza volátil o difusible) que favorecen el desarrollo de las hifas mientras se lleva a cabo la colonización por parte del hongo (Gadkar *et al.*, 2001). En este sentido, se tiene conocimiento de que la presencia de los HMA modifica las interacciones que tienen las plantas con otros microorganismos, al estar colonizadas en lo que se conoce como la simbiosfera (Titus y del Moral, 1998).

En el caso de la dispersión de los HMA, se reconoce que son dispersados por una gran variedad de fauna (Warner *et al.*, 1987). Dicho transporte puede darse por su consumo, ya sea dirigido o accidental, y su posterior liberación en las heces del organismo que los consumió. También puede ocurrir por su adherencia a las partes del organismo (como las garras, el pelaje o su cavidad bucal) cuando éste se traslada o consume algunas partes de las plantas o partes de la red de hifas del suelo. De igual forma, estos transportes pueden ocurrir simultáneamente (Warner *et al.*, 1987; Naranjo-Morán *et al.*, 2021). Entre los invertebrados subterráneos que pueden actuar como dispersores de HMA se encuentran los colémbolos (Collembolla) (Rusek, 1998; Anslan *et al.*, 2016), las hormigas (*Camponotus compressus* Fabr.) (Harinikumar y Bagyaraj, 1994), los nemátodos, las lombrices de tierra (*Lumbricus terrestris* L.) (Harinikumar y Bagyaraj, 1994; Lee *et al.*, 1996), los ácaros, las cochinillas (Isopoda) (Rabatin y Stinner, 1988), los milpiés (*Phyllogonostreptus nigrolabiatus* Newport) y las termitas (*Microtermes* sp.) (Harinikumar y Bagyaraj, 1994). Esta labor no solo es realizada por los organismos que viven en el suelo, ya que también se ha reportado que insectos aéreos y algunos vertebrados, entre ellos los humanos, contribuyen a su dispersión (Naranjo-Morán *et al.*, 2021).

Con respecto a su identificación, y debido a que la morfología de la colonización micorrízica que se produce en las raíces de las plantas es de limitado valor taxonómico y poco fiable (Clapp *et al.*, 1995; Brundrett *et al.*, 1996; Merryweather y Fitter, 1998), la taxonomía de los HMA se apoya en la morfología de sus esporas: forma, color, tamaño, grosor, tipo y naturaleza de las paredes que la constituyen, conexión hifal, ornamentaciones, etc. (Smith y Read, 2008). Por otro lado, se utiliza la densidad de esporas de HMA (número de esporas/100 g de suelo), como una representación de la abundancia de las distintas especies de HMA en los suelos y del potencial del inóculo de los mismos. Sin embargo, debido a las diferencias existentes en la capacidad de esporulación, ese parámetro no obligatoriamente es comparable entre las diversas especies de HMA. Recientemente, con el advenimiento de las técnicas de biología molecular, se han comenzado a caracterizar con certidud a las especies de HMA presentes en las raíces de las plantas y a las esporas en el suelo con base a la comparación de sus secuencias de ADN (Jansa *et al.*, 2002). Sin embargo, existen todavía inconsistencias en la abundancia real de los organismos en el campo, por lo que aún se dista mucho de que el problema esté resuelto, por lo que la cuantificación de esporas, aún con sus limitaciones, sigue siendo un parámetro útil y más utilizado para estimar la diversidad de los HMA (Lovera y Cuenca, 2007; Aguilar-Ulloa *et al.*, 2016). Es importante denotar que la diversidad de los HMA varía en función del tamaño del área estudiada, de la estación del año, de las características del suelo y de la latitud (Allen *et al.*, 1995). Así mismo, las tasas de esporulación pueden variar en función del genotipo del hongo (Clapp *et al.*, 1995).

En relación a su uso, los HMA han sido utilizados de dos formas en la agricultura. El primer método ha sido trabajar con los hongos nativos mientras que, el segundo, consiste en inocular consorcios comerciales al suelo (Klironomos, 2003). Sin embargo, este último procedimiento tiene como consecuencia que los HMA introducidos pueden alterar la acción de los hongos nativos. A pesar de lo anterior, se ha considerado su uso, ya que el monocultivo, que es una práctica intensiva agrícola, provoca una disminución en la abundancia, riqueza de especies y longitud del micelio extrarradical de los HMA, así como también afecta su eficacia

para colonizar y promover el crecimiento de las plantas (Boddington y Dodd, 2000; Mäder *et al.*, 2000; Oehl *et al.*, 2003). Es por ello, que en muchos trabajos se hace uso de consorcios de HMA para mejorar el desarrollo de plantas de interés agrícola, tales como la fresa (Lingua *et al.*, 2013), el aguacate (*Persea americana* Mill.) (Bañuelos *et al.*, 2017), la papaya (*Carica papaya* L.) (Quiñones-Aguilar *et al.*, 2019), el durazno (*Prunus persica*) (Wu *et al.*, 2011), el agave azul (*Agave tequilana* Weber) (Montoya-Martínez *et al.*, 2019), diversos cítricos (*Citrus* spp) (Chen *et al.*, 2014a; Navarro y Morte, 2019), entre otros.

Por otra parte, existen trabajos que reportan la colonización micorrízica, así como la abundancia y diversidad de esporas de HMA ya presentes en los suelos de diversos cultivos agrícolas (Bertolini *et al.*, 2018; Raya Montañó *et al.*, 2019). En el sur de Chile, se realizó un experimento con un ecotipo local de chile (*Capsicum annuum* L.), conocido localmente como “cacho de cabra”. Se establecieron tres tratamientos en donde se inoculó a las plantas una especie de HMA comercial (*G. intraradices*), una especie nativa (*G. claroideum*) y el control. Posteriormente, a los 45 días de que se sembraron, se trasplantaron y a los 90 y 216 días se evaluó la calidad del fruto así como parámetros fúngicos, edáficos y también observaron precocidad en la producción del fruto. En este estudio se concluyó que la inoculación de la especie nativa disminuyó el estrés por trasplante, favoreciendo así la etapa de maduración de la planta. Durante la floración, el área foliar aumento un 160% en comparación al control y un 59% con respecto al tratamiento con *Glomus intraradicens*. Resultados semejantes se obtuvieron con el peso seco de las plantas, en donde el tratamiento con el hongo nativo tuvo un aumento de 116% en peso mientras que con el hongo comercial este aumento fue de un 60% en relación al tratamiento control (Castillo *et al.*, 2009).

#### **4.1.5 Prácticas agrícolas convencionales**

El ser humano, en su afán de producir mayores cantidades de alimento ha provocado impactos negativos en el ambiente (Verhulst *et al.*, 2015; Ceccon, 2008;

Sarandón y Flores, 2014). La mayor parte de los sistemas agrícolas actuales, se basan en el uso excesivo de agroquímicos y de cultivos de alto rendimiento y poca o nula variación genética, es decir, hay una aplicación masiva de insumos costosos (Sarandón y Flores, 2014).

La erradicación del hambre ha sido el ideal con el cual se justifica y defiende el uso a gran escala de fertilizantes químicos, pesticidas, de variedades seleccionadas por su alto rendimiento, así como el uso de maquinaria pesada en los campos agrícolas (Borlaug, 1972; Cecon, 2008; Sarandón y Flores, 2014). Estos cambios en la producción agrícola constituyeron la llamada “Revolución Verde” (Cecon, 2008).

Dicha revolución aumentó significativamente la producción (Borlaug, 1972; Gliessman, 2002; Cecon, 2008; Sarandón y Flores, 2014). A escala mundial, el incremento en la productividad de los cultivos fue de un 4.9%, sin embargo, en varias naciones del mundo, el incremento en cultivos como el arroz y el trigo se duplicó y hasta se cuadruplicó, esto bajo la misma superficie de cultivo de años anteriores (Cecon, 2008). Sin embargo, las consecuencias de este aumento en los rendimientos se verían observadas en el aumento del consumo mundial de agroquímicos (la compra de fertilizantes químicos aumentó 1290%) y de plagas en los cultivos (en Brasil, entre 1963 y 1973, el número de plagas en los cultivos aumentó de 243 a 593) (Cecon, 2008; Ghorbani *et al.*, 2009; Sarandón y Flores, 2014).

En el caso del suelo, su degradación se hizo evidente en la mayoría de los países latinoamericanos (Cecon, 2008) y se vio reflejado en su productividad. Los suelos se presentaron erosionados, salinos, desertificados, contaminados por agroquímicos, compactados, con pérdida de su estructura, de su fertilidad y como un recurso cada vez más limitante (Gliessman, 2002; Sarandón y Flores, 2014; Verhulst *et al.*, 2015).

Fue notoria también la dependencia de técnicas costosas y de diversos insumos, con tal de brindarle a las plantas mejoradas las condiciones óptimas para

mantener su productividad (Altieri, 1999b; Gliessman, 2002; Ceccon, 2008; Sarandón y Flores, 2014). El endeudamiento para la compra de insumos, agudizó la pobreza del campesino (Ceccon, 2008).

Aunado a lo anterior, el uso de semillas mejoradas de alta productividad y uniformes genéticamente, favoreció la alta vulnerabilidad de las plantas a diversas enfermedades y plagas, lo cual provocó la alta dependencia de los pesticidas (Gliessman, 2002; Ceccon, 2008; de Bauer, 2009; Sarandón y Flores, 2014). Esto no sucede con las variedades nativas, cuya diversidad genética es alta, están adaptadas a las condiciones locales y cuentan con una resistencia natural ante sus depredadores. Sin embargo, muchas de estas variedades se han perdido o han sido desplazadas por las comerciales, provocando la erosión genética de los cultivos (Gliessman, 2002; Ceccon, 2008; Sarandón y Flores, 2014). En otras palabras, la mayor parte de los cultivos está uniformizando su base genética con pocas interacciones con su medio (Gliessman, 2002).

De igual forma, no solo se han perdido una gran cantidad de variedades nativas de cultivos, el ejemplo claro son las 1,000 variedades de lino de Turquía o las 6,000 de manzanas de los Estados Unidos de América (Ceccon, 2008), sino también de saberes y de técnicas regionales, que han sido sustituidas por técnicas “modernas” y de aplicación mundial. Lo anterior forma parte de la erosión cultural (de Bauer, 2009; Sarandón y Flores, 2014).

La justificación inicial de este modelo agrícola, no ha sido resuelta, el hambre mundial sigue latente y millones de personas cuentan con desnutrición (Sarandón y Flores, 2014). El abuso y la degradación de los recursos naturales de los cuales la agricultura moderna necesita, así como su dependencia de diferentes insumos, la hacen insostenible, ya que está deteriorando las condiciones que la hacen posible (Gliessman, 2002).

#### **4.1.5.1. Los agroquímicos en la agricultura convencional**

Se considera que los agroquímicos son sustancias, orgánicas e inorgánicas, que apoyan y mejoran el desarrollo de los cultivos aumentando su productividad (Lastra y Ojanguren, 2008). Constituyen un insumo costoso (Bhandari, 2014; Sarandón y Flores, 2014) que la *Revolución Verde* popularizó, y cuyo consumo a nivel global se ha incrementado en los últimos tiempos (Gliessman, 2002; Ceccon, 2008; de Bauer, 2009; Martínez-Ghersa, 2011). Entre los agroquímicos, se encuentran los pesticidas y los fertilizantes (de Bauer, 2009; Bhandari, 2014), cuyo uso desmesurado, ha tenido consecuencias negativas en el microcosmos del suelo (Önder *et al.*, 2011; Meena, *et al.*, 2020), en el medio ambiente y en la salud humana (Ceccon, 2008; Wolansky, 2011).

##### **4.1.5.1.1 Pesticidas**

Los pesticidas son sustancias químicas (orgánicas, inorgánicas o microbiológicas) que tienen propiedades biocidas sobre ciertos organismos, y que, aun siendo muy selectivos, pueden dañar al ser humano, al propio cultivo y al entorno. En otras palabras, pueden dañar el equilibrio ecológico (Raya, 2002; Gliessman *et al.*, 2007; de Bauer, 2009; Bedmar, 2011). Se han considerado como “un triunfo del hombre sobre la naturaleza” (Borlaug, 1972; Sarandón y Flores, 2014)

Los plaguicidas surgen por la necesidad de eliminar poblaciones nocivas o no deseadas por el ser humano y se les suelen denominar “plagas”, término que tiene una connotación antropocéntrica (Cremlyn y Frixione, 1982; Bedmar, 2011). Las plagas a su vez, emanan como consecuencia de la alteración de los ecosistemas (de Bauer, 2009).

Muchos pesticidas son tan tóxicos que se encuentran en la denominada “docena sucia”, que comprende a los 12 productos químicos más peligrosos que existen. Nueve de estos productos fueron utilizados en la agricultura tal es el caso

del DDT, el Aldrin, el Dieldrin, el Endrin, el Clordano, el Hexacloro, el Heptacloro, el Mirex y el Toxafeno (Sarandón y Flores, 2014).

En las últimas décadas, el consumo de los pesticidas ha aumentado sustancialmente (Cremllyn y Frixione, 1982; Ceccon, 2008; Ghorbani *et al.*, 2009; de Bauer, 2009; Martínez-Ghersa, 2011; Sarandón y Flores, 2014; Meena, *et al.*, 2020), y a pesar de su uso, las pérdidas de plantas provocadas por plagas y enfermedades, siguen siendo considerables (Ceccon, 2008; Ghorbani *et al.*, 2009), ya que aunque se logre acabar con la mayoría de la población plaga, algunos individuos logran sobrevivir al tener características que genéticamente los hacen menos vulnerables al pesticida, por lo cual, pueden llegar a reproducirse y transmitir esa característica a las nuevas generaciones (Ceccon, 2008; Wolansky, 2011; Sarandón y Flores, 2014). Ahora bien, los plaguicidas no solo terminan con dichas poblaciones, sino también con los enemigos naturales de ellas (Gliessman, 2002; Ceccon, 2008). Con el tiempo, dicha plaga no se verá tan severamente dañada como se observaba en un principio, por lo que la dosis de aplicación con el mismo plaguicida podría aumentar hasta mil veces más (Gliessman, 2002; de Bauer, 2009; Wolansky, 2011). Esto debido a que la dosis aceptable del ingrediente activo deja de ser eficaz ante la resistencia de la plaga (Martínez-Ghersa, 2011; Wolansky, 2011).

Lo anterior tiene importantes repercusiones en lo económico y ambiental. En el rubro económico, se aumentan los costos al tener que comprar más producto para evitar el daño a los cultivos (Ceccon, 2008; Wolansky, 2011), además, en plantas que han sido modificadas genéticamente, como la soja, se ha reportado hasta cuatro aplicaciones por ciclo de producción (Wolansky, 2011). En el aspecto ambiental, se acelera la acumulación de la sustancia activa en los suelos, en el agua, en el aire y también en los alimentos que consumimos (Gliessman, 2002; Wolansky, 2011; de Bauer, 2009; Sarandón y Flores, 2014). Así mismo, tienen efectos perjudiciales en el crecimiento, la supervivencia y en la actividad microbiana del suelo (Cycoñ *et al.*, 2006; Zaller *et al.*, 2014). Además, contribuyen al calentamiento global y al adelgazamiento de la capa de ozono (Sarandón y Flores, 2014).

Existen otros factores de riesgo a causa de su uso. Uno de ellos es en lo relativo a la salud humana (Cremllyn y Frixione, 1982; Wolansky, 2011; de Bauer, 2009; Sarandón y Flores, 2014), cuyos efectos varían de acuerdo con el modo de acción y la dosis del plaguicida, así como por las características de cada organismo. Los daños van desde efectos leves y efímeros como el salpullido o el adormecimiento de los dedos, hasta convulsiones, malformaciones congénitas, trastornos glandulares y cáncer (Wolansky, 2011). En Argentina, se han reportado muchos casos y denuncias por intoxicación con agroquímicos, mientras que en otros países se tiene vedado el uso de ellos, entre los que se contemplan el DDT y el Mirex (Sarandón y Flores, 2014).

En los alimentos se ha reportado su presencia en concentraciones superiores a los niveles tolerables. Tal es el caso de alimentos de la leche comercial (Prado *et al.*, 1998), carnes (de Bauer, 2009) y una cantidad significativa de alimentos como las frutas y hortalizas (de Bauer, 2009; ANVISA, 2011; 2020).

#### **4.1.5.1.1.1 Herbicidas**

Los herbicidas son sustancias utilizadas para el control de plantas indeseadas dentro de los cultivos, las cuales son conocidas como malezas. Tienen diferentes efectos, que van desde el envenenamiento directo de la planta hasta la destrucción de la misma antes de que emerja (Hubbell, 2011). Sin embargo, su uso no se limita a la erradicación de las malezas, ya también provoca alteraciones en la biota del suelo, tales como la reducción de las poblaciones microbianas (Milošević y Govedarica, 2002) y de su diversidad (Kremer y Means, 2009), lo cual conlleva, entre otras cosas, a la alteración de la actividad enzimática que tiene lugar en el suelo. De igual forma, su aplicación excesiva y en alta concentración, suscita la muerte de microorganismos sensibles (Milošević y Govedarica, 2002).

#### 4.1.5.1.1.1.1 Glifosato

El glifosato (N-fosfonometil glicina) es un herbicida de amplio espectro que controla el desarrollo de una amplia variedad de malezas anuales, perennes y leñosas (Bedmar, 2011; Ferrano y Rositano, 2011). Circula fluidamente en el sistema vascular de las plantas una vez que logra ingresar a ellas (Bedmar, 2011). Controla a las malezas debido a que inhibe la enzima 5-enolpiruvil shikimato 3-fosfato sintasa (EPSPS) de la vía del shikimato en el cloroplasto (Bode *et al.*, 1984). Debido a que la vía de la síntesis del shikimato también es común en los microorganismos (Herrmann y Weaver, 1999), puede afectar su crecimiento y abundancia, a pesar de ser organismos no objetivo de sus efectos (Villalba, 2009; Helander *et al.*, 2012).

El suelo retiene a esta sustancia en sus partículas y tiene poca movilidad, por lo que su aplicación únicamente debe realizarse en el follaje. Si existe una combinación entre la siembra directa, suelos húmedos y lluvias al término de su aplicación, el glifosato es capaz de llegar a aguas subterráneas (Bedmar, 2011).

Debido a su efectividad, a su bajo costo, a la propagación de la siembra directa y por la existencia de cultivares transgénicos resistentes a sus efectos (soja, maíz y algodón), el glifosato se ha convertido en el herbicida más usado (Busse *et al.*, 2001; Bedmar, 2011). Su uso simplificó las tareas del campo al no hacer laboreo del suelo (arando la tierra y nivelándola con rastras) (Ferrano y Rositano, 2011).

Se considera de toxicidad baja debido a que interviene en procesos metabólicos que existen en las plantas, más no en animales. No obstante, en dosis muy altas, el glifosato puede interferir en algunas funciones enzimáticas en los animales (Martínez-Ghersa, 2011). Sin embargo, en muchas regiones del mundo se han puesto en duda sus escasos efectos perjudiciales, tanto para el ser humano como para el ambiente, por lo que se han realizado diversos estudios (toxicológicos, ecotoxicológicos, etc.) para verificar este supuesto (Bedmar, 2011).

#### 4.1.5.1.2 Fertilizantes químicos

Al igual que otros agroquímicos, el uso de los fertilizantes se ha incrementado en los últimos tiempos (Gliessman, 2002; de Bauer, 2009). En Estados Unidos, en tan solo 40 años, su consumo pasó de 9 millones de toneladas a más de 47 millones de toneladas (Gliessman, 2002). Son considerados “una maravilla moderna” (National Plant Food Institute, 1975) ya que acrecientan la productividad y la acumulación de biomasa en las plantas en el corto plazo (Gliessman, 2002; Verhulst *et al.*, 2015).

A pesar de no considerarse directamente tóxicos para la fauna, la flora o hasta el ser humano, se ha reportado que su efecto en el ambiente puede ser igual de nocivo que el de los pesticidas. Lo anterior debido a que la mayor parte no es aprovechado por las plantas, como en el caso de los fertilizantes nitrogenados en donde se pierde hasta un 75% por lixiviación (Hirel *et al.*, 2011). Provocan impactos negativos como la eutrofización de los ríos, lagos y costas (Gliessman, 2002; de Bauer, 2009); contribución al adelgazamiento de la capa de ozono y al calentamiento global; contaminación del suelo, entre otros (de Bauer, 2009). En el caso de la salud humana, los fertilizantes contienen componentes minerales que son fácilmente lixiviados y éstos podrían llegar a los mantos acuíferos de donde se extrae el agua potable para consumo humano (Gliessman, 2002).

De igual forma, con el incremento de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo, las plantas se tornan vulnerables al ataque por plagas y enfermedades (Ghorbani *et al.*, 2009). El aumento de fertilizantes nitrogenados provoca una disminución en el pH del suelo, lo cual a su vez conlleva al uso de cal en los campos agrícolas (Verhulst *et al.*, 2015). El productor, una vez rectificado el pH, vuelve a aplicar fertilizante (si lo aplica antes, las plantas no lo aprovechan como deberían) (National Plant Food Institute, 1975), tornándose así en un círculo vicioso.

Por otra parte, se considera que, si las plantas aprovecharan el fertilizante aplicado, no habría consecuencias ambientales negativas en el corto plazo. Sin embargo, esto no sucede realmente, por diversas razones (tipo de cultivo y de

fertilizante, lugar, forma de aplicación) cantidades importantes de fertilizantes (nitrogenados), se lixivian de los cultivos (de Bauer, 2009; Hirel *et al.*, 2011).

#### **4.2 Prácticas e insumos agrícolas y su influencia en las plantas y los microorganismos del suelo**

En un ensayo de campo a largo plazo realizado en Suiza, se aplicaron cuatro sistemas de cultivo; orgánico (estiércol de corral y estiércol líquido, control mecánico de la hierba), biodinámico (con estiércol y fertilizantes minerales, control mecánico de la hierba), dos sistemas de cultivo de alto insumo (uno con estiércol y otro sin él, controlando la hierba con herbicidas y mecánicamente) y el control sin fertilizantes ni pesticidas. Se hizo rotación de cultivos y se evaluó la colonización micorrízica por hongos micorrízicos arbusculares. La colonización micorrízica fue de un 30 - 60% en las plantas que fueron cultivadas en los sistemas de bajos insumos que en aquellos de altos insumos. Los valores más altos en la colonización micorrízica se encontraron en el control, siendo esta diferencia persistente después de dos años de cultivo de hierba y trébol. Alrededor del 50% de la variación en la colonización micorrízica fue explicada por las propiedades químicas del suelo, siendo la más destacable el fósforo soluble en el suelo. Posteriormente, en un experimento de invernadero, y utilizando trigo como planta huésped, reportaron que en los suelos con bajos insumos las plantas tenían mayor capacidad de iniciar la simbiosis con los HMA autóctonos de la parcela. Así mismo, la cobertura y diversidad de malezas fue mayor en los tratamientos de bajos insumos que en los convencionales (Mäder *et al.*, 2000). En este estudio, a 21 años de evaluación, encontraron que el rendimiento en los cultivos fue 20% menor en los sistemas orgánicos en relación a los convencionales. Sin embargo, en los sistemas orgánicos el aporte de fertilizantes y energía disminuyó entre un 34 y 53%, el de pesticidas se redujo un 97%, hubo una mayor masa y diversidad microbiana, mayor actividad y diversidad de insectos y arácnidos, y mayor estabilidad de los agregados en relación al manejo convencional (Mäder *et al.*, 2002). Dos años más tarde, encontraron que la comunidad de HMA difería entre los sistemas convencionales y los orgánicos. Las

especies del género *Glomus* Tul. & C. Tul. emend C. Walker & A. Schüßler estuvieron presentes en todos los sistemas, mientras que las pertenecientes a los géneros *Acaulospora* Gerd. & Trappe emend. Berch y *Scutellospora* Walker & Sanders fueron mayormente abundantes en los sistemas orgánicos (Oehl *et al.*, 2004). En el caso del género *Rhizophagus* C. Walker & A. Schüßler, hay un aumento significativo en su abundancia, ya sea si se aplica fertilizante inorgánico o estiércol (Ma *et al.*, 2018). En otro estudio, también de largo plazo, demuestran que los tratamientos con estiércol, en general tuvieron mayores contenidos de carbono orgánico, de nitrógeno y fósforo total. Su trabajo sugiere que el carbono orgánico en el suelo favorece el crecimiento de los HMA mientras que, el pH y el potasio disponible contribuyen fuertemente en la comunidad de HMA presente en el suelo. Así mismo, sugieren que la combinación de abono orgánico con fertilizante inorgánico, puede mejorar la economía agrícola manteniendo la calidad del suelo (Qin *et al.*, 2015). Hay otros estudios que reportan el efecto benéfico de la utilización de abonos orgánicos con fertilizantes químicos (Dhull *et al.*, 2004; Ding *et al.*, 2017). Sin embargo, se corre el riesgo de que las comunidades de HMA cambien con la adición de agroquímicos al suelo (Liu *et al.*, 2020).

La labranza y el monocultivo repercuten en la diversidad de HMA. Esto fue observado en un estudio en donde evaluaron las poblaciones de HMA en un pastizal natural y en tres parcelas, siendo dos de ellas monocultivos de cebada y trigo en las que se realizó labranza convencional por más de 40 años y una parcela con trébol rojo sin aplicación de labranza convencional. Encontraron 17 especies de HMA, 14 de ellas estuvieron tanto en el cultivo de trigo rojo como en el pastizal; cuatro en el cultivo de cebada y cinco en el de trigo (Menéndez *et al.*, 2001).

Por otra parte, se ha estudiado el efecto de las sustancias húmicas y las asociaciones micorrízicas. En este sentido, Vallini *et al.*, (1993), reportaron que una concentración alta de sustancias húmicas (mayor de 800 mg kg<sup>-1</sup>) ocasionó una disminución tanto de la colonización micorrízica como de la longitud de las hifas en raíces de laurel (*Laurus nobilis* L.); mientras que en un cultivo hidropónico de maíz, a una concentración aproximada de 800 mg L<sup>-1</sup>, se favoreció la colonización de los

hongos micorrízicos en las raíces del maíz (*Zea mays* L), así como la producción de micelio extrarradical (Gryndler *et al.*, 2005). En relación al crecimiento de las plantas a las que se les añade sustancias húmicas, los resultados no son consistentes. Por ejemplo, en un estudio donde se aplicaron menos de 5 kg·ha<sup>-1</sup> de ácidos húmicos, no se observaron efectos sobre el crecimiento de las plantas de lechuga (*Lactuca sativae* L.) en ninguno de los suelos evaluado ni en la respiración microbiana (Hartz y Bottoms, 2010). Resultados similares fueron observados en un experimento con cebolla (*Allium cepa* L.) en donde se probaron diversos productos comerciales con sustancias húmicas. En general, en dicho estudio no se observó influencia de los tratamientos sobre la altura, rendimiento y calidad de la cebolla, a excepción de uno, el cual presentó una altura y rendimiento menores significativamente (Feibert *et al.*, 2003). En contraste con los experimentos anteriormente mencionados, en un estudio de laboratorio con suelos salinos, encontraron que aplicaciones de 1000 y 2000 mg kg<sup>-1</sup> de ácido húmico y de 50 mg kg<sup>-1</sup> de nitrato de calcio aumentaron el peso fresco y seco de la hoja, el peso fresco y seco de la raíz, el diámetro del tallo, la longitud de la raíz y la longitud del brote. Sin embargo, al aumentar las dosis, tanto del ácido húmico como del nitrato de calcio, se observó una disminución en estos parámetros en las plántulas de pimiento (*Capsicum annum* cv Derme) bajo condiciones de salinidad (Gulser *et al.*, 2010).

En relación a los herbicidas, que comúnmente son aplicados en los campos agrícolas, se han hecho estudios en los que se observa su efecto sobre el crecimiento de las plantas y los organismos del suelo. En un estudio con los herbicidas Fenoxaprop-P-etilo y 2,4-D éster etílico, que combaten hierbas mono y dicotiledóneas respectivamente, se encontró que ambos afectan negativamente el número de esporas en el suelo y el porcentaje de colonización, este efecto se vio agudizado al aumentar la dosis del herbicida (Gupta *et al.*, 2011). Sin embargo, es importante destacar que los efectos de los herbicidas sobre los HMA y los microorganismos del suelo muestran resultados que varían entre sí, siendo su efecto nulo, leve o altamente dañino (Milošević y Govedarica, 2002; Kremer y Means, 2009; Savin *et al.*, 2009; Gupta *et al.*, 2011; Druille *et al.*, 2013; Pasaribu *et al.*, 2013; Brindhavani *et al.*, 2018). Esta inconsistencia en los resultados, en el caso

de los HMA, por lo regular depende de la especie y de las tasas aplicación del herbicida (Dehn *et al.*, 1990; Pasaribu *et al.*, 2013). En el caso del glifosato, que se ha convertido en el herbicida más usado (Busse *et al.*, 2001; Bedmar, 2011), se ha encontrado que es capaz de disminuir la actividad enzimática de la fosfatasa hasta en un 98% (Sannino y Gianfreda, 2001), así como de reducir la proliferación de *Bradyrhizobium*, una bacteria simbiote (dos Santos *et al.*, 2005). Puede inhibir tanto el crecimiento como la actividad de la biota del suelo (Santos y Flores, 1995) y, en condiciones de laboratorio, se han demostrado sus efectos nocivos sobre los hongos micorrízicos arbusculares, ya que puede influir de manera directa en la producción de metabolitos activos en las plantas, lo cual impacta negativamente en la colonización de la raíz por parte de estos hongos (Savin *et al.*, 2009). Así mismo, puede alterar indirectamente el crecimiento del micelio intrarradical y la formación arbuscular así como disminuir la biomasa de hifas y de esporas (Zaller *et al.*, 2014). La viabilidad de las esporas también se ve afectada, incluso en dosis bajas (Druille *et al.*, 2013). En un estudio, Brindhavani *et al.*, 2018, realizaron un experimento para evaluar el efecto del glifosato sobre los HMA y el crecimiento de *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench. Trabajaron con siete tratamientos, siendo el primero el control, seguido de un tratamiento solo con HMA, un tratamiento con la dosis recomendada de glifosato (12 ml/L), y, por último, combinaciones de HMA con diferentes dosis de glifosato (6, 12, 18 y 24 ml/L). Encontraron que el tratamiento al cual únicamente se inocularon HMA aumentó la concentración de fósforo en el suelo, la colonización micorrízica y la abundancia de esporas con respecto al tratamiento control. La dosis más alta de glifosato en combinación con los HMA disminuyó la colonización micorrízica y las esporas en el suelo (Brindhavani *et al.*, 2018). Por otra parte, resulta interesante que el glifosato en concentraciones bajas puede ser un estimulante del crecimiento de las plantas. Se ha reportado este efecto en plantas como el maíz, *Arabidopsis thaliana* L. Heynh, *Commelia benghalensis* L., el sorgo, la soja, eucaliptos y pinos (Duke *et al.*, 2006; Venili *et al.*, 2008) siendo más acentuado en géneros leñosos (Duke *et al.*, 2006). Cabe destacar que las concentraciones bajas de aplicación del herbicida pueden variar en función del tipo de planta y del tejido evaluado (Velini *et al.*, 2008). Este fenómeno, conocido como

hormesis, hace alusión al efecto estimulante que una sustancia puede tener en concentraciones bajas, aun cuando en altas dosis sea tóxico para el organismo, este fenómeno se ha reportado en otros herbicidas como oxifluorfenó, dalapon, terbutilazina, entre otros (Duke *et al.*, 2006).

Con respecto a los fertilizantes inorgánicos, se ha evidenciado que su aplicación disminuye la diversidad de hongos en el suelo (Ding *et al.*, 2017). En el caso de los HMA, la fertilización química disminuye significativamente su diversidad alfa, mientras que la fertilización orgánica mantiene una diversidad alfa alta, al igual que el control sin fertilizantes. Se ha evidenciado una correlación negativa entre los HMA y el aumento en el contenido de nutrientes por fertilizantes inorgánicos y una correlación positiva cuando estos niveles de nutrientes aumentan por fertilización orgánica. Así mismo, la aplicación de fertilizantes orgánicos fortalece la relación entre las plantas y los HMA, mientras que la fertilización inorgánica disminuye esta asociación ya que hay nutrientes suficientes que las plantas pueden adquirir directamente sin su ayuda (Liu *et al.*, 2020). Además, la aplicación de estos fertilizantes aumenta la degradación (Blanco-Canqui y Schlegel, 2013) y acidez del suelo (Guo *et al.*, 2010; Verhulst *et al.*, 2015), reduce significativamente el carbono orgánico del suelo (Li *et al.*, 2014), la biomasa (Lovell *et al.*, 1995), y la diversidad bacteriana (Coolon *et al.*, 2013) y fúngica del suelo (He *et al.*, 2016).

#### **4.3 Propiedades del suelo que tienen influencia en los agaves y en los hongos micorrízicos arbusculares**

Los agaves son plantas que tienen una amplia distribución en el país, encontrándose en el 75% del territorio mexicano. Crecen en una gran variedad de hábitats, pasando por las planicies y las partes bajas de las montañas en regiones áridas y semiáridas, hasta las zonas escarpadas de los bosques templados. Abundan en los matorrales xerófilos, en la selva baja caducifolia, en el bosque espinoso y en pastizales. Lo anterior conlleva a que se desarrollen en suelos muy diversos entre sí, tanto de origen ígneo como sedimentario (García-Mendoza,

2007). Entre los suelos en los que se desarrollan se encuentran los regosoles, litosoles, xerosoles, y rendzinas (Cen-Cen *et al.*, 2015).

Las propiedades físicas y químicas del suelo influyen en la disponibilidad de nutrientes para las plantas y en su buen desarrollo (FitzPatrick, 1984; Ramírez Carvajal, 1997; FAO, 2021b). En *Agave tequilana* Weber y en *A. deserti* Engelm, los niveles de nitrógeno, fósforo, potasio, boro y sodio del suelo influyen en su productividad (Nobel, 1989). Para *Agave angustifolia* Haw., el carbono orgánico, el pH, el carbono de la biomasa microbiana del suelo y cationes de  $Mg^{+2}$ ,  $Ca^{+2}$  y  $K^{+}$  son los indicadores más importantes de la calidad del suelo de las plantaciones de esta especie, siendo los niveles de carbono orgánico del suelo, los que distinguen las prácticas de labranza mínima y de arado con animales o discos (Bautista-Cruz *et al.*, 2011).

Por otra parte, existen diversas variables del suelo que influyen en el desarrollo de los HMA. Una de ellas es el carbono orgánico, el cual favorece el crecimiento de los HMA, mientras que la textura, el pH y las concentraciones de  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  y  $K^{+}$  influyen en la estructura de sus comunidades (Qin *et al.*, 2015; Chimal-Sánchez *et al.*, 2018 ). Se ha reportado que la fertilización con fósforo disminuye significativamente la tasa de colonización micorrízica, la colonización de arbusculos y la densidad de longitud de las hifas (Chen *et al.*, 2014). Así mismo, las adiciones de fósforo afectan la riqueza de los Glomerales, mientras que la de los Diversisporales se ve menguada con las aplicaciones de nitrógeno (Camenzind *et al.*, 2014).

#### **4.4 *Agave cupreata***

##### **4.4.1 Nombres vernáculos**

*Agave cupreata* Trel. & Berger es una especie conocida por diversos nombres dependiendo de la región. Ha sido llamada “yaabendisi” en la lengua mixteca, “tuchi”, por los tuxas y en la región central del estado de Guerrero ubicada

como “maguey papalote”. En Michoacán se le suele llamar “maguey chino”. Además de los nombres anteriormente citados, *Agave cupreata* es también reconocida como “maguey gordito”, “cimarrón”, papalote o papalometl, ya que la silueta de sus pencas parece tomar forma de mariposa (Salas-Tornés y Hernández-Sánchez, 2015).

#### 4.4.2 Clasificación taxonómica de *Agave cupreata*

🌿 Reino:	Plantae
🌿 División:	Angiospermae
🌿 Clase:	Liliopsida
🌿 Subclase:	Liliidae J.H. Schaffn
🌿 Superorden:	Lilianaes Takht.
🌿 Orden:	Asparagales Link
🌿 Familia:	Asparagaceae Juss.
🌿 Subfamilia:	Agavoideae Herb.
🌿 Género:	<i>Agave</i> L.
🌿 Subgénero:	<i>Agave</i> Gentry
🌿 Especie:	<i>Agave cupreata</i> Trel. & A. Berger

(Fuente: Modificado de la APG III, 2009).

#### 4.4.3 Características morfológicas

Son plantas suculentas que presentan una roseta única de tamaño mediano, sus hojas carnosas y de color verde brillante al estar expuestas al sol, por lo regular son lanceoladas u ovadas, planas a ligeramente cóncavas en el haz (Fig. 1). Las espigas que poseen son grandes, curvas y poseen generalmente una coloración cobriza. Las hojas tienen márgenes profundamente crenados mamilados, dimórficos y muy aplanados, encontrándose desde lisos a curvos y de colores cobrizos a grises (Gentry, 1982).



**Figura 1.** Apariencia general de *Agave cupreata*, especie endémica de México. Fotos: Toledo-Esquivel, 2021.

La inflorescencia es una panícula de 4-7 m de altura con 14 a 25 pedúnculos laterales en la mitad superior de la inflorescencia. Las flores que la componen forman umbelas difusas, los colores que pueden presentar varían de los tonos naranjas a los amarillos, tienen un tamaño de 55-60 mm de largo y están sostenidas por pedicelos con brácteas oscuras. Tienen un ovario de entre 30-35 cm de largo, de color verde oliva y fusiforme. Las anteras miden entre 23-24 cm de largo, son amarillos, sobresalientes y curvos (Gentry, 1982).

Los frutos con el tiempo se tornan de tonos verdes a coloraciones amarillas y rojizas (Avendaño-Arrazate *et al.*, 2015).

#### **4.4.4 Biología reproductiva y floral**

Los agaves pueden reproducirse tanto asexual como sexualmente (García-Mendoza, 2007). Sin embargo, *Agave cupreata* únicamente lo hace por la vía sexual, alcanzando su madurez entre los 7 a los 15 años de edad. En esta especie existen barreras que obstaculizan la autopolinización, lo cual favorece la polinización cruzada, por lo que su reproducción depende totalmente de sus

polinizadores. Sus flores son perfectas y existe una separación tanto espacial como temporal entre las anteras y los estambres. Así mismo, en la maduración de los órganos reproductivos, las anteras son las primeras en hacerlo, siendo así sus flores protándricas. La temporada de floración ocurre entre enero y abril (García-Meneses, 2004).

En plantaciones de *Agave cupreata* con presencia de plagas y enfermedades se ha visto la formación de clones en individuos que han sido severamente afectados, aunque esto es poco frecuente. En este sentido, en una plantación del Mezquital, se observó este fenómeno en una planta que había sido atacada en el tallo por picudo. Los clones se originaron a partir de los brotes del disco basal de las hojas (Martínez-Palacios *et al.*, 2015). Sin embargo, en poblaciones silvestres, tanto del estado de Guerrero como de Michoacán, este hecho no ha sido constatado (Martínez-Palacios, comunicación personal).

#### **4.4.5 Distribución**

*Agave cupreata* es endémica de México que se distribuye en la cuenca del Balsas, entre los estados de Guerrero y Michoacán. En el estado de Michoacán, se ha reportado su presencia en los municipios de Charo, Jungapeo, Madero, Morelia, Turicato y Tzitzio (Martínez-Castro *et al.*, 2015), mientras que, en el estado de Guerrero se encuentra en las poblaciones conocidas como “La Laguna”, “Mesones” y “La Esperanza” (Aguirre-Dugua & Eguiarte, 2013). Crece en altitudes que oscilan entre los 1220 a los 1850 msnm, en bosques de pino encino, principalmente; aunque en ocasiones se ha reportado su presencia en selva baja caducifolia aledaña a los bosques (Gentry, 1982).

#### 4.4.6 Problemática

Es una especie cuya explotación para mezcal inició hace 400 años (Toral-Paz y Martínez-Palacios, 2014; Agared, 2017) y continúa hasta nuestros días, acentuándose a partir de la incorporación del estado de Michoacán a la Zona de Denominación de Origen del Mezcal en el año 2012 (Anónimo, 2018). De manera natural, *Agave cupreata* se reproduce únicamente por la vía sexual y fue a principios de este siglo que se comenzó con la producción de plantas a partir de las semillas. Sin embargo, el poco conocimiento del manejo de las plantaciones y el uso excesivo de agroquímicos ha favorecido la presencia de plagas y enfermedades en ellas, así como la extracción desmedida de individuos de sus poblaciones silvestres (García-Meneses, 2004; Illsley *et al.*, 2007; Martínez-Castro *et al.*, 2015; Martínez-Palacios *et al.*, 2011, 2015b). Es por ello que se deben implementar medidas que mejoren el estado de las plantaciones. En este aspecto, existen estudios en donde esta especie se ha cultivado bajo un manejo integral, libre de agroquímicos, en el cual se registra un crecimiento notable de las plantas, con ausencia de plagas y enfermedades (Martínez-Palacios *et al.*, 2015b). Lo anterior demanda la necesidad de profundizar en el conocimiento de qué factores ambientales (físicos-químicos-biológicos) intervienen en desarrollo integral de las plantaciones.

## 5. ANTECEDENTES

### 5.1 Plantaciones de especies del género *Agave*

En el 2016, México contaba con una superficie de 120,339 ha sembradas con diferentes especies de agaves, siendo los estados de Jalisco, Guanajuato, Oaxaca, Nayarit y Michoacán los de mayor superficie destinada a tal fin. El agave usado para henequén, solo se siembra en Yucatán, y en ese entonces, su superficie era de 8,512 ha (SENASICA, 2016).

Entre la superficie sembrada con agaves mezcaleros se encuentra la comunidad “El Durazno”, perteneciente al municipio de Tzitzio, Michoacán, en donde se evaluó el desarrollo de una plantación hasta el inicio de la etapa de floración, que fue establecida en una zona parcialmente deforestada a la que se le dio un manejo integral, conservando las hierbas asociadas y en donde no se aplicaron fertilizantes ni se usaron pesticidas. Se hizo un estimado de 3,630 plantas/ha de *Agave cupreata* Trel. & Berger. Se establecieron plantas bajo la parte conservada de selva baja caducifolia y otras bajo una exposición al este y al sur. El crecimiento de las plantas fue variable, aunque en promedio las plantas presentaron una altura de 98 cm y de 167 cm de diámetro. Al sexto año, inició la floración del 1% de los agaves, del 6-10% en el séptimo año y del 20-30% en el octavo año. En relación a la respuesta de las plantas a la exposición del sol y su cultivo bajo dosel, se observó un crecimiento similar entre las expuestas al sur y aquellas bajo los árboles, y mayor que las expuestas al este. Las plantas bajo dosel presentaron un crecimiento continuo mientras que, las expuestas al sol, tuvieron un menor desarrollo durante las estaciones secas. Al final de la plantación, se estimó una pérdida del 20% de los agaves (Martínez-Palacios *et al.*, 2015b).

En Etúcuaro, municipio de Madero, Michoacán, se estudiaron los terrenos “El Mezquital” y “Las Campechanas”, los cuales tenían plantaciones de *Agave cupreata* con una manifestación severa de plagas y enfermedades. En ese estudio reportaron que los dueños mencionaron una pérdida de 60-80% de plantas. En ambos sitios

se habían utilizado diversos pesticidas y hecho quemas en época de secas. Se establecieron en los predios cuatro cuadrantes, dos testigos con poda de hierbas y dos con uso de glifosato, y se suspendió la aplicación de bactericidas, fungicidas e insecticidas. El crecimiento de las plantas fue menor en las plantas de los cuadrantes con uso de glifosato que en aquellas en donde se controlaron las hierbas con chaponeos, siendo esta tendencia más acentuada en los individuos de tallas juveniles a intermedias ( $\leq$  a 50 cm de diámetro) (Martínez-Palacios *et al.*, 2015).

En 13 plantaciones de *Agave tequilana* Weber (agave azul) en los terrenos de la Herradura, en el Valle de Amatitán, municipio de Tequila, Jalisco, se evaluaron indicadores físicos y químicos del suelo que son clave para su fertilidad, y el efecto que tiene en ellos la labranza, la enmienda de suelos con efluentes de destilería y el pastoreo del ganado. La labranza disminuyó el carbono orgánico del suelo, así como los niveles de carbono, nitrógeno y fósforo. La enmienda de efluentes de destilería aumentó los niveles de los cationes del suelo, tales como  $K^+$ ,  $Na^+$  y  $Ca^+$ , mientras que el pastoreo tuvo mínimos efectos en los nutrientes mencionados (Gobeille *et al.*, 2006). En este mismo estado, pero en los municipios de Tuxcacuesco y Tonaya, se encontró que en la mayoría de los 36 sitios estudiados, hubo deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio, por lo que los suelos se clasificaron en la categoría de bajos a pobres en cuanto a su contenido nutricional (Fregoso-Zamorano *et al.*, 2023). En esta mismo región, se compararon las prácticas de policultivo con las de monocultivo de *Agave tequilana* por medio de un índice que se estableció en base a 8 prácticas agroecológicas, encontrando que en el policultivo se realizaron mayores prácticas agroecológicas en comparación con el monocultivo, siendo este último menos sustentable y mayormente ligado a los cultivos que realizan las industrias del tequila (Herrera-Pérez *et al.*, 2017). En un estudio similar realizado en la Sierra de Amula, Jalisco, se evaluó cualitativamente el manejo sustentable de 16 parcelas de agave azul en función a un índice basado en seis principios: diversificación de especies, cantidad de materia orgánica, prácticas que mejoran las condiciones edáficas y que evitan la erosión, y manejo de plagas y hierbas. De las 16 plantaciones, dos de ellas fueron consideradas no

sustentables, seis tuvieron un manejo sustentable bajo, cinco con un nivel medio y tres con un manejo sustentable alto (Moreno-Hernández *et al.*, 2011).

Por otra parte, se han identificado numerosas enfermedades y plagas que afectan las plantaciones de agaves. En dos plantaciones de *Agave cupreata* en Etúcuaro, en donde se había hecho un amplio uso de pesticidas, se detectaron enfermedades como la antracnosis, que es causada por hongos y que provoca el necrosamiento del tejido afectado; la roña; la “penca roja del agave”, causada por *Fusarium oxysporum* Schltdl., siendo el síntoma más evidente la coloración de la penca, acompañada de un debilitamiento general de la planta; y la “podrición del cogollo del agave”, que es poco común y muy agresiva, ya que causa la pérdida total del individuo, puede ser provocada por *Fusarium proliferatum*, aunque también se han aislado bacterias tales como *Pectobacterium carotovorum* (Jones) Waldee Sin. *Erwinia carotovora* (Jones) Bergey (Morales-García *et al.*, 2015). En Guanajuato, además de las anteriores enfermedades, se ha detectado la “macha gris”, causado por el hongo *Cercospora agavicola* (SENASICA, 2015). En relación a la incidencia de plagas, es reconocido que el 95% de las especies de insectos asociados al género *Agave* son comunes para la mayoría de magueyes cultivados, variando en la intensidad de ataque y en las condiciones ecológicas donde se establece el cultivo. Sin lugar a duda, la principal plaga de las especies de agaváceas es el picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhaal) (SENASICA, 2016), que dependiendo del grado de ataque, puede provocar la muerte de la planta. En la zona mezcalera de Etúcuaro, se ha reportado que la pérdida de plantas es del 3% por año, con una pérdida acumulada del 18% al llegar a la etapa de cosecha (Del Rio Mora *et al.*, 2015). En el estado de Jalisco, la podrición del cogollo asociada al picudo negro ha tenido una incidencia del 25 al 93% en algunas regiones (Castro-Valera, 2003). Así mismo, se han documentado daños del 10.26 y 13.35% en 1000 mitades de piñas de *Agave angustifolia* Haw. y *A. tequilana*, respectivamente, con pérdidas que fluctúan entre 5.54 – 29.97 kg/piña para *A. angustifolia* y de 3.97 – 29.97 kg/pina para *A. tequilana*, en los Valles Centrales de Oaxaca (Bolaños *et al.*, 2007). En el estado de Jalisco, se reportó un daño de 24.5% en 510 mitades de piñas de *A. tequilana* (Solís-Aguilar *et al.*,

2001). No obstante, no es la única plaga que perjudica a las plantaciones de agave. Se encuentran también el “gusano rojo” (*Comadia redtenbacheri* Hamm. *Sin. Hypopta agavis*), el “escarabajo rinoceronte” (*Strategus aloeus* L.), la “escama algodonosa” (*Pseudococcus agavis* MacGregor), el “escarabajo funerario” o “cerambícido del agave” (*Acanthoderes funeraria* Bates), el “gusano del maguey” (*Aegiale hesperiaris* Walker), el “barrenador de pencas del agave” (*Agathymus rethon* Dyar), la “gallina ciega” (*Anomala* sp, *Cyclocephala* sp y *Phyllophaga* sp) y la “escama armada” (*Acutaspis agavis* Townsend & Cockerell) (Del Rio Mora *et al.*, 2015; SENASICA, 2015). También se han reportado afectaciones causadas por roedores (“rata de campo”, *Sigmodun* sp.) en cultivos de agave azul en el estado de Guanajuato, en donde se alimentan de la base de las pencas y del cogollo (SENASICA, 2015).

## **5.2 Abundancia y diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en especies del género *Agave***

Existen numerosos trabajos que han hecho esfuerzos significativos en evaluar la abundancia y diversidad de especies de HMA asociados a los suelos rizosféricos de diferentes especies de agaves en México. Por ejemplo, en el sur del país, en la región de los Valles Centrales y la Sierra Sur del estado de Oaxaca, Reyes-Jaramillo *et al.*, en el 2019 reportaron la presencia de 48 morfoespecies registradas en los suelos de *Agave karwinski* Zucc y *Agave angustifolia* Haw. De las morfoespecies encontradas, determinaron 31 a nivel de especie mientras que el resto, las determinaron a nivel de género, debido a que no coincidían con alguna especie reportada hasta ese momento. Las especies descritas estuvieron contenidas en 15 géneros pertenecientes a 7 familias, siendo Glomeraceae Piroz. & Dalpé emend C. Walker & Schüßler (37.5%), Gigasporaceae Morton & Benny (27%) y Acaulosporaceae Gerd. & Trappe (20.8%) las más representativas. Encontraron que algunas variables del suelo (textura, pH y las concentraciones de Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> y K<sup>+</sup>) tienen influencia en la estructura de la comunidad de los HMA. En esta misma región, se encontraron cuatro nuevos registros de especies de HMA

asociadas a suelos de distribución de *A. karwinski* y *A. angustifolia* para México (Chimal-Sánchez *et al.*, 2018).

En otra zona, dentro de los Valles Centrales de Oaxaca, se evaluó la variación estacional del potencial micorrízico y la diversidad de la micorriza arbuscular asociada a plantas de *Agave potatorum* Zucc. En ese estudio se registró que en todos los sitios y temporadas del año, la colonización micorrízica fluctuó entre un 20 y un 83%, mientras que la abundancia de esporas en 100 gramos de suelo osciló de 20 a 192 esporas, identificándose 20 especies de HMA, siendo la familia Glomeraceae la más representativa (45%), seguida de las familias Acaulosporaceae (35%) y Gigasporaceae (15 %) (Carballar-Hernández *et al.*, 2013). En la Mixteca Oaxaqueña, para esta misma especie, se encontró la presencia de nueve especies de HMA, pertenecientes a los géneros *Glomus* (siete especies) y *Gigaspora* (dos especies) (Hernández-Morales *et al.*, 2014).

En el Valle de Tehuacán-Cuicatlán fue estudiado el estatus de la micorriza arbuscular en 50 especies del lugar, incluidas dos especies del género *Agave*. En dicho estudio reportaron una baja colonización micorrízica (1 - 10%) en las raíces de *A. salmiana* Otto ex Salm-Dyck, y media en las de *A. marmorata* Roetzl (11 - 20%) (Camargo-Ricalde *et al.*, 2003).

En el estado de Hidalgo, dentro del Valle del Mezquital, caracterizaron la relación entre 30 especies vegetales de cuatro tipos de matorral y los HMA. Dentro de las especies de plantas del lugar, tres pertenecen al género *Agave*, siendo éstas *A. lechuguilla* Torr., *A. striata* Zucc. y *A. salmiana*. En *Agave lechuguilla* el porcentaje de colonización micorrízica fue de un 18.10%, mientras que para *Agave striata* y *Agave salmiana* fueron de 30.83% y 44.04% respectivamente. Con respecto al número de esporas en 100 g de suelo éste fue de 244 para *A. striata* mientras que para *A. salmiana* fue de 212, siendo dominante el género *Glomus* (García-Sánchez, 2008).

En el oeste del país, en el estado de Michoacán, se realizó un estudio en el que se evaluó la variación estacional de los HMA asociados a *Agave cupreata* Trel.

& A. Berger. Encontraron 39 morfotipos de los cuales el 55% de ellos fueron observados tanto en la época de lluvias como en la de sequía, el 29% fueron exclusivos de la temporada seca y el 16% de la temporada de lluvias. Con respecto a la abundancia de esporas por 100 gramos de suelo, obtuvieron en promedio entre 50 a 400 esporas durante la temporada seca, mientras que, en la temporada de lluvias, la abundancia fue de entre 20 a 350 esporas. Las familias con mayor abundancia de morfotipos fueron Glomeraceae (37%) y Acaulosporaceae (34%) respectivamente (Trinidad-Cruz *et al.*, 2017).

En el norte de México, específicamente en el estado de Sonora, se reportó la presencia de 32 morfotipos, distribuidos entre los géneros *Acaulospora*, *Archaeospora*, *Diversispora*, *Glomus* y *Pacispora*, encontrados en suelos rizosféricos de *Agave angustifolia*. En relación a la colonización micorrízica, ésta varió de 4.8% en invierno, a 24.9% en primavera (Ochoa-Meza *et al.*, 2009). En el desierto sonorense, la colonización micorrízica en las raíces laterales de *Agave deserti* fluctuó entre 1.3 a 10.5% (Cui y Nobel, 1992).

Por otra parte, en un estudio de laboratorio, se evaluó la compatibilidad de los HMA nativos en plántulas de *Agave angustifolia* propagadas por hijuelos vegetativos y bulbilos florales, utilizando parámetros de crecimiento y nutrición como indicadores. Se inocularon plantas con seis consorcios nativos de HMA (CN1-CN6) procedentes de Tlacolula, Oaxaca; un control positivo con *Glomus intraradices* y un control absoluto. Los hijuelos vegetativos tuvieron una mayor compatibilidad con el inóculo nativo CN2, mientras que los bulbilos fueron compatibles con los consorcios nativos CN4 y CN6 así como con *Glomus intraradices*. En general, hubo una mayor compatibilidad con los HMA nativos con respecto al inóculo exótico, *Glomus intraradices*, independientemente del origen de la planta. En relación a las variables de crecimiento, los hijuelos vegetativos presentaron una mayor producción de biomasa, tanto de las raíces como de la parte aérea, en relación a los bulbilos, que presentaron menor vigor. En el caso de la colonización micorrízica, se vio un efecto contrario, siendo mayor significativamente en los bulbilos (Robles-Martínez *et al.*, 2013).

### 5.3 Efecto de los fertilizantes y de los hongos micorrízicos arbusculares en plantas del género *Agave*

Existen estudios en donde se evalúa el crecimiento de agaves bajo diferentes tipos de fertilizantes e inoculantes comerciales de HMA. Tal es el caso de un estudio de laboratorio, en donde evaluaron los efectos de los hongos micorrízicos arbusculares y de la fertilización fosfatada de dos especies de agaves silvestres, agave tobalá (*Agave potatorum* Zucc) y agave coyote (*Agave* spp.). Utilizaron dos productos comerciales con HMA, *Glomus cubense* (equivalente a 5000 esporas viables en 100 g de inóculo) y Glumix (con cuatro especies del género *Glomus*, equivalente a 2000 esporas viables en 100 g de inóculo), así como cuatro dosis de fósforo, 0, 14.4, 29 y 43.5 mg kg<sup>-1</sup>. Se reportó un incremento con respecto al control del 18.2% en el número de hojas, 53.5% en el peso fresco de la hoja, 38.1% peso fresco del tallo, 36% en el diámetro del tallo, en plantas del agave tobalá con uso de Glumix. En el caso del agave coyote, con el mismo producto comercial, se obtuvo un incremento del 12% en la altura de la planta y el 21.6% de sólidos solubles totales. En general, el uso de Glumix y de las dosis de 29 y 43.5 mg kg<sup>-1</sup> de fósforo favorecieron el crecimiento en el agave coyote y agave tobalá, respectivamente (García-Martínez *et al.*, 2020). En otro trabajo, se demostró que, tanto el riego como el uso de fertilizantes de liberación lenta, mejoran el crecimiento y la nutrición de plantas de *Agave angustifolia* Haw. (Sánchez-Mendoza *et al.*, 2019).

## 6. JUSTIFICACIÓN

Existen notables evidencias reportadas a lo largo de la historia entre los cultivos convencionales (consumista) y alternativos (conservacionista) (Rosset y Altieri, 2018). Los primeros se basan en la amplia utilización de agroquímicos y los segundos, en el uso de componentes de materia orgánica composteada, bio-insecticidas y cultivos integrados. Ambos sistemas registran efectos contrastantes en el ambiente, el convencional es altamente perjudicial, el otro es amigable. Sin embargo, las miles de hectáreas de plantaciones de agaves (tequileros y mezcaleros) en el país, están fundamentadas en el uso de agroquímicos y muy escasos trabajos han demostrado que un manejo integral favorece el desarrollo de los agaves y conservación del ambiente (Martínez-Palacios *et al.*, 2015b). Por lo anterior, y conociendo los daños y pérdidas que causa el uso de agroquímicos en los cultivos de agave y en otros grupos de plantas, así como las afectaciones que tienen en la biota del suelo, sería de fundamental interés evaluar la respuesta de las plantas de *Agave cupreata* Trel. & A. Berger en relación a su crecimiento y supervivencia, así como evaluar el daño por picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhaal). Así mismo, saber cuál es el estado que guarda la asociación con los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) bajo el uso de agroquímicos, y bajo sistemas integrales de la biodiversidad o sistemas amigables al ambiente, ya que los HMA son simbioses que juegan un papel fundamental en la nutrición de las plantas en los ecosistemas naturales.

## 7. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿El crecimiento y supervivencia de las plantas de *Agave cupreata* Trel. & A. Berger será mayor en los tratamientos libres de agroquímicos con respecto a los que los contienen?
- ¿El daño por picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhaal) será mayor en las plantas de *Agave cupreata* sometidas a los tratamientos con agroquímicos?
- ¿Será mayor la abundancia y diversidad morfológica de esporas, así como la colonización de HMA en aquellos tratamientos en donde se realizan prácticas sin agroquímicos en contraste con aquellas que los tienen?
- ¿Se podrá ver un efecto en el gradiente de malezas con ayuda de los tratamientos de glifosato (T1), poda (T5) y deshierbe (T7)?
- ¿Cuál será el efecto combinado de un fertilizante sintético (triple 16) y de un herbicida (glifosato)?
- ¿Cuál será el efecto del fertilizante sintético (triple 16) en las plantas de *Agave cupreata* y en la colonización de las raíces por parte de los HMA, así como en la abundancia y diversidad de esporas de éstos?
- ¿Cuál será el efecto del herbicida (glifosato) en las plantas de *Agave cupreata* y en la colonización de las raíces por parte de los HMA, así como en la abundancia y diversidad de esporas de este grupo?

- ¿Cuál será el efecto en las plantas de *A. cupreata* y en las comunidades de HMA al utilizar un fertilizante orgánico líquido (humus) y un fertilizante orgánico sólido (composta)?

## 8. HIPÓTESIS

- Debido al impacto negativo que se ha documentado de los agroquímicos en las prácticas de manejo tradicionales, la abundancia de esporas y la diversidad morfológica de HMA del suelo rizosférico de las plantas de *Agave cupreata*, así como la colonización micorrízica de las raíces y el crecimiento de las plantas será menor o diferente en los tratamientos con agroquímicos.

## 9. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la respuesta del crecimiento y supervivencia en plantas *Agave cupreata* Trel. & Berger., y el daño ocasionado por *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhaal, así como la respuesta de los hongos micorrízicos arbusculares ante prácticas agrícolas convencionales y sistemas libres de agroquímicos.

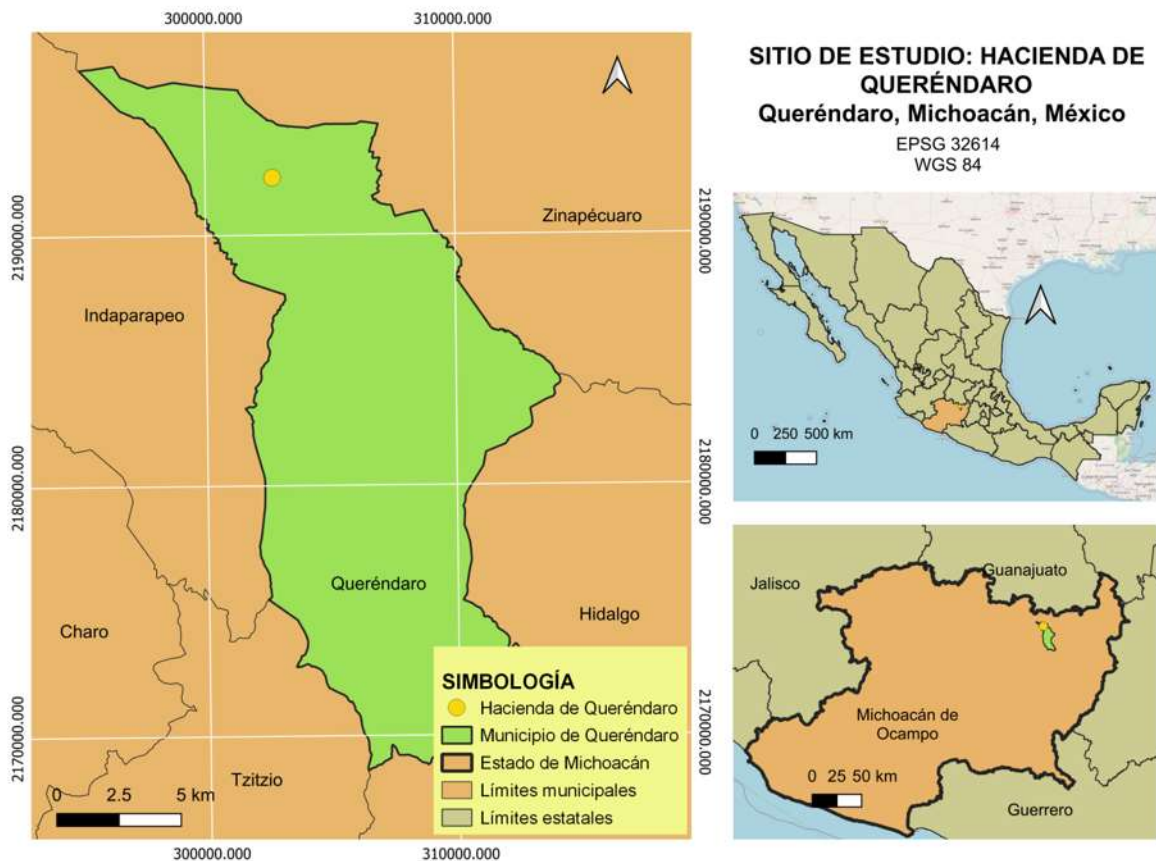
### 9.1 Objetivos particulares

- Cuantificar el crecimiento y la supervivencia de las plantas de *A. cupreata* bajo prácticas agrícolas convencionales y sistemas libres de agroquímicos con manejo de plantas arvenses y fertilización orgánica.
- Determinar el porcentaje de colonización de HMA en las raíces de plantas *A. cupreata* en ambas prácticas de manejo.
- Determinar la abundancia y la diversidad morfológica de esporas HMA de la rizosfera de *A. cupreata* en ambas prácticas de manejo.
- Identificar el daño por picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus*) en las plantas de *A. cupreata* en ambas prácticas de manejo
- Relacionar la abundancia y diversidad morfológica de los HMA en relación a las propiedades fisicoquímicas del suelo.

## 10. MATERIALES Y MÉTODOS

### 10.1 Sitio de estudio

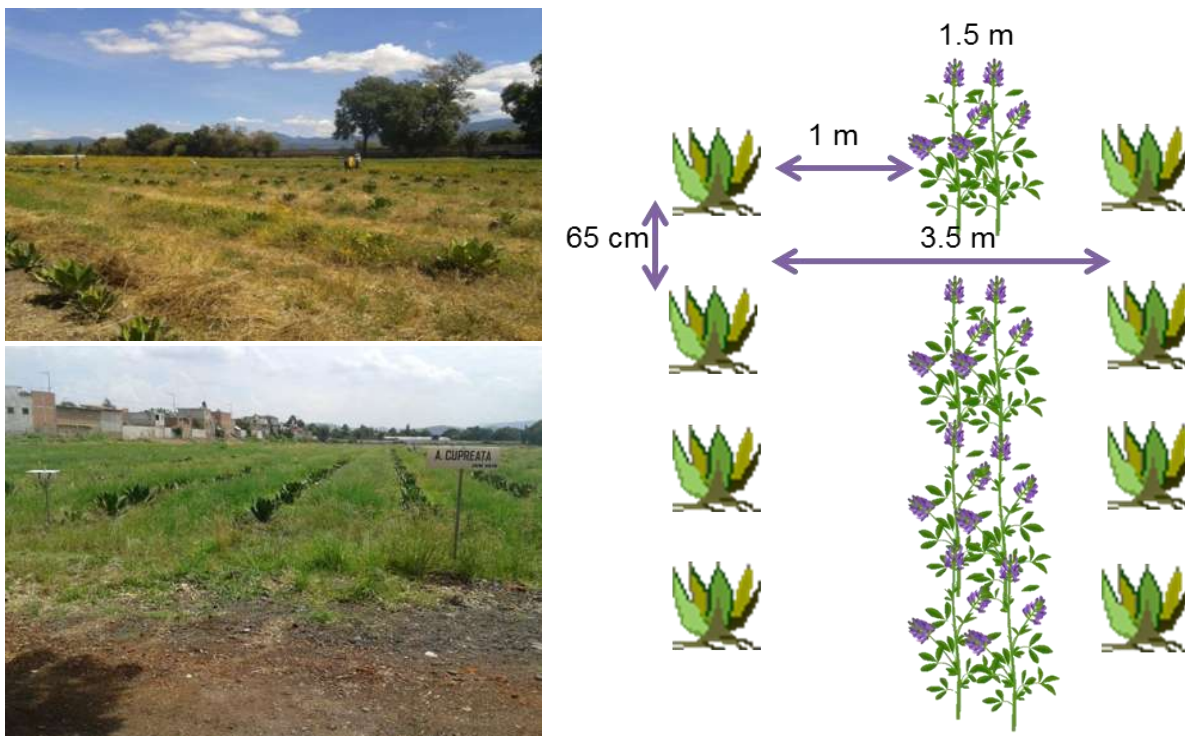
El presente trabajo se realizó en una parcela de 4.5 ha en la Hacienda de Queréndaro (productor: Sr. Ricardo Vargas), municipio de Queréndaro, Michoacán (19°48'59.94" N y -100°53'01.04" W), a una altitud de 1840 msnm (Fig. 2). El mapa del sitio de estudio se realizó en el programa QGIS 3.28.4 (QGIS.org, 2023). De acuerdo con la clasificación de Köppen modificado por García, el tipo de clima es C(w1) (w) templado subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2017). La temperatura media mensual varía de 12.5 a 19.5 °C, mientras que la precipitación anual media es de 700 mm (Carlón-Allende y Mendoza, 2007). El terreno tiene un suelo franco-arcilloso-arenoso, con 30.4% de arcilla; 14.3% de limo y 50.5% de arena. Es profundo, más de 1.5 m, con nula pedregosidad y con 3.45 % de materia orgánica. Presenta un pozo de agua para riego, el cual se utiliza para la inundación de surcos cada 21-30 días en los meses de estiaje (noviembre a mayo). El pH es ligeramente alcalino (pH=7.44).



**Figura 2.** Sitio de estudio ubicado en la Hacienda de Queréndaro, municipio de Queréndaro, Michoacán.

## 10.2 Cultivo de *Agave cupreata*

Se utilizó una plantación de dos años de edad de *Agave cupreata*, manejada por el productor Sr. Ricardo Vargas, a la cual se le dio seguimiento en relación al crecimiento y a la supervivencia. Los tratamientos iniciaron con un total de 90 plantas cada uno. Dichas plantas fueron plantadas en hileras con una distancia de 65 cm entre ellas, las hileras tienen más de 100 m y se subdividieron en bloques (5 bloques, cada bloque con 18 plantas). Existe un espacio de 3.5 m entre hileras, en donde el centro (con 1.5 m de ancho) se siembra alfalfa y existe aproximadamente un metro entre el límite de la alfalfa y la hilera de plantas de agaves (Fig. 3).



**Figura 3.** Distancias entre las hileras de plantas de *A. cupreata* y la alfalfa plantada por el productor. En el esquema de la derecha se utilizaron imágenes de la web, ver créditos de las imágenes. Fotografías de la izquierda, Toledo-Esquivel, 2021.

### 10.3 Tratamientos establecidos en campo en 2019

A los cultivares se les aplicaron siete tratamientos establecidos (debido a la realización de experimentos anteriores) los cuales se agregaron cada tres meses. Las hileras donde se encuentran las plantas tienen una orientación que va de oriente a poniente y una pendiente menor al 5%. A continuación, se describen los tratamientos de estudio (cuadro 1):

#### *Manejo agrícola convencional*

- Glifosato. Se aplicaron 400 mL del producto en 20 L de agua únicamente a las plantas que se encuentran alrededor del agave.
- Glifosato / Triple 16 (16-16-16). Se aplicaron las mismas cantidades de los tratamientos de glifosato y triple 16.








- Triple 16/Deshierbe. En cada planta se utilizaron alrededor de 200 g de fertilizante, deshierbando al ras del suelo alrededor de las plantas de agave.

#### *Sistemas libres de agroquímicos*

- Humus/Poda. Se utilizaron 1.5 L de humus líquido en 20 L de agua. Se rocían aproximadamente 200 mL en la base de las plantas de agave. La hierba circundante se poda. El humus contenía roca fosfórica y calcio de diatomeas.
- Poda. Tratamiento en el cual no se aplicó ningún tipo de sustancia y únicamente se podó. La poda consiste en el corte de la hierba a la altura de las espinas superiores de la planta de agave.
- Composta/Poda. Se aplicaron aproximadamente 3 kg en cada individuo. Las plantas circundantes al agave se podaron. La composta fue una mezcla de estiércol, paja, restos de rastrojo y agua.
- Deshierbe. Tratamiento en el cual no se aplica ningún tipo de sustancia y únicamente se deshierbó.

Entiéndase como *poda* al corte de las hierbas circundantes a la altura de las plantas de los agaves mientras que como *deshierbe*, al corte de las éstas con ayuda de una desbrozadora o machetes, al ras del suelo sin exponer su superficie.

**Cuadro 1.** Tratamientos evaluados en campo.

Tratamientos						
Manejo agrícola			Manejo libre de agroquímicos con manejo de arvenses y fertilización orgánica			
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
						
Glifosato	Glifosato / Triple 16	Triple 16 / Deshierbe	Humus / Poda	Poda	Composta / Poda	Deshierbe

#### 10.4 Incremento en altura y diámetro de las plantas de *Agave cupreata*

La evaluación consistió en medir tanto la altura como el diámetro de cada una de las plantas establecidas en los diferentes tratamientos. El diámetro se obtuvo a partir de medir la distancia entre las hojas más extendidas, midiendo de espina a espina, mientras que la altura se midió desde la base de la planta hasta la punta de la espina terminal del cogollo o centro de crecimiento (Fig. 4). Estas mediciones se efectuaron durante cuatro tiempos de muestreo (agosto 2021, octubre 2021, abril 2022, agosto 2022).



**Figura 4.** Medición de las variables de crecimiento de plantas de *A. cupreata* en campo.  
Fotos: Toledo-Esquivel, 2021.

### 10.5 Colonización micorrízica arbuscular en plantas de *Agave cupreata*

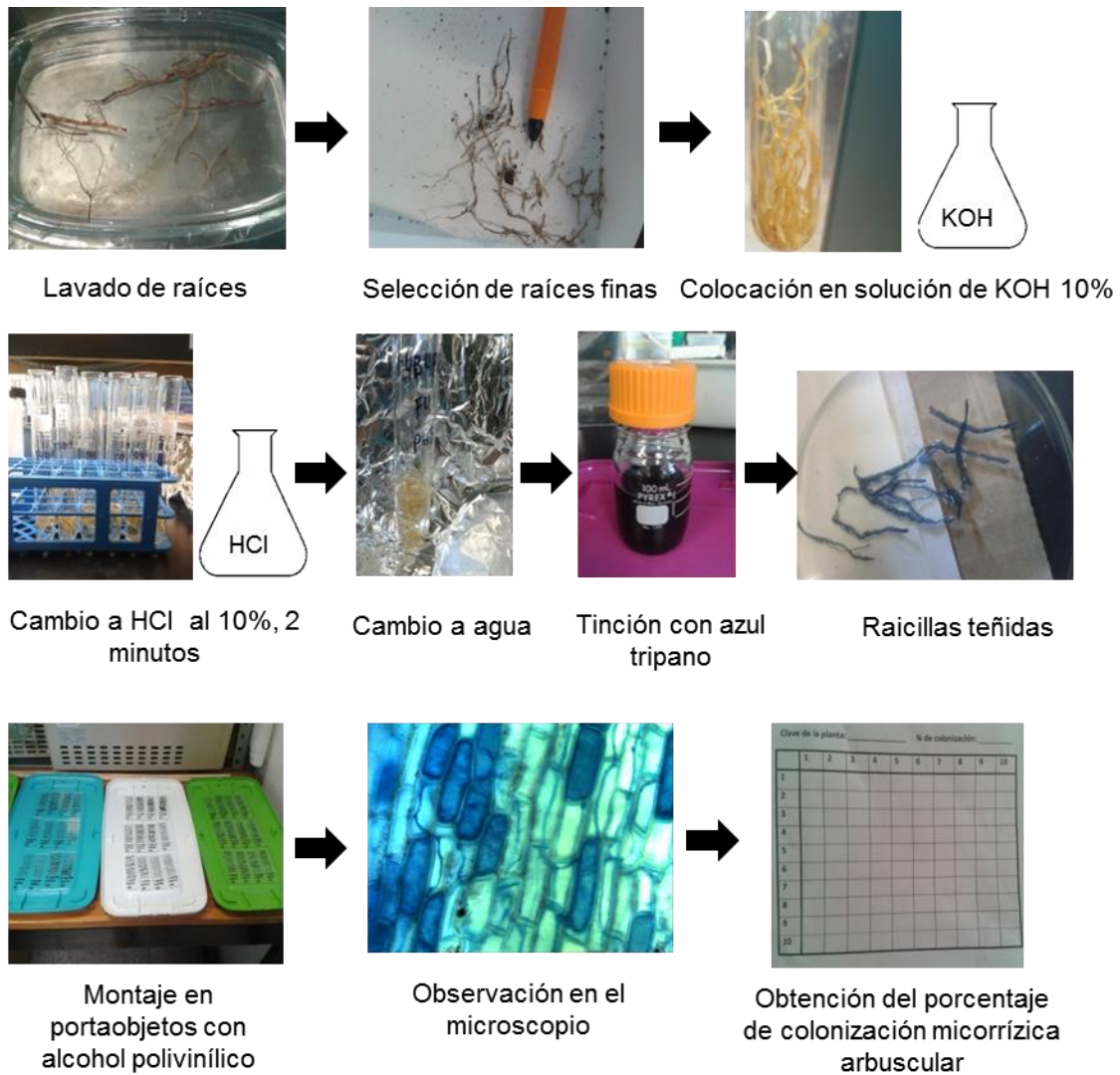
Para la evaluación de la colonización de hongos micorrízicos arbusculares se realizaron recolectas de las raíces secundarias de individuos de *A. cupreata* en el mes de agosto, 2021. Las muestras se tomaron siguiendo la raíz del agave, recolectando aquellas más finas, en cuatro puntos alrededor de la planta para formar una muestra compuesta. En total se recolectaron seis muestras compuestas por cada tratamiento (Fig. 5).



**Figura 5.** Recolecta de raíces secundarias y suelo cercano a la rizosfera de *Agave cupreata*.  
Fotos: Toledo-Esquivel, 2021.

Cada una de las muestras compuestas se colocó en bolsas distintas, herméticamente cerradas y rotuladas. Se muestrearon las raíces y el suelo cercano a la rizosfera de seis plantas por cada uno de los tratamientos bajo estudio. Una vez en el laboratorio, se prosiguió a extender el suelo en charolas secándolo a temperatura ambiente y separándolo de las raíces.

Para obtener los porcentajes de colonización micorrízica, las raíces finas fueron homogenizadas y lavadas con agua sobre un tamiz fino. Se prosiguió con el método reportado por Phillips y Hayman (1970) haciendo adecuaciones para las raíces de agave. Las raíces se dejaron en una solución de hidróxido de potasio (KOH) al 10% por cinco días, esto con el propósito de que las raíces colectadas se transparentaran (particularmente las muy suberizadas). Posteriormente se pasaron a una solución de ácido clorhídrico (HCl) al 10% durante dos minutos. Se continuó haciendo un tercer cambio, en el cual las raíces se pasaron en agua durante dos minutos. A partir de este punto, las raíces estuvieron listas para teñirse con azul tripano en lactoglicerol 1%, solución en la que estuvieron durante una hora. Una vez teñidas, se revisó si las raíces se encontraban sobre-teñidas o no. Si se daba el primer caso, se dejaban unos minutos en glicerol para eliminar el exceso de tinción. En caso de que no hubiera sobre tinción, se seleccionaron al azar 10 raíces que fueron montadas en portaobjetos con alcohol polivinílico. Terminado este proceso, las raíces fueron observadas en el microscopio óptico (Fig. 6). De cada muestra compuesta se obtuvo una réplica, y su observación se llevó a cabo con el objetivo de 40x. De cada portaobjetos se cuantificó en 100 intersecciones el porcentaje de estructuras de HMA (hifas, arbuscúlos, vesículas y esporas) observados en las raíces.

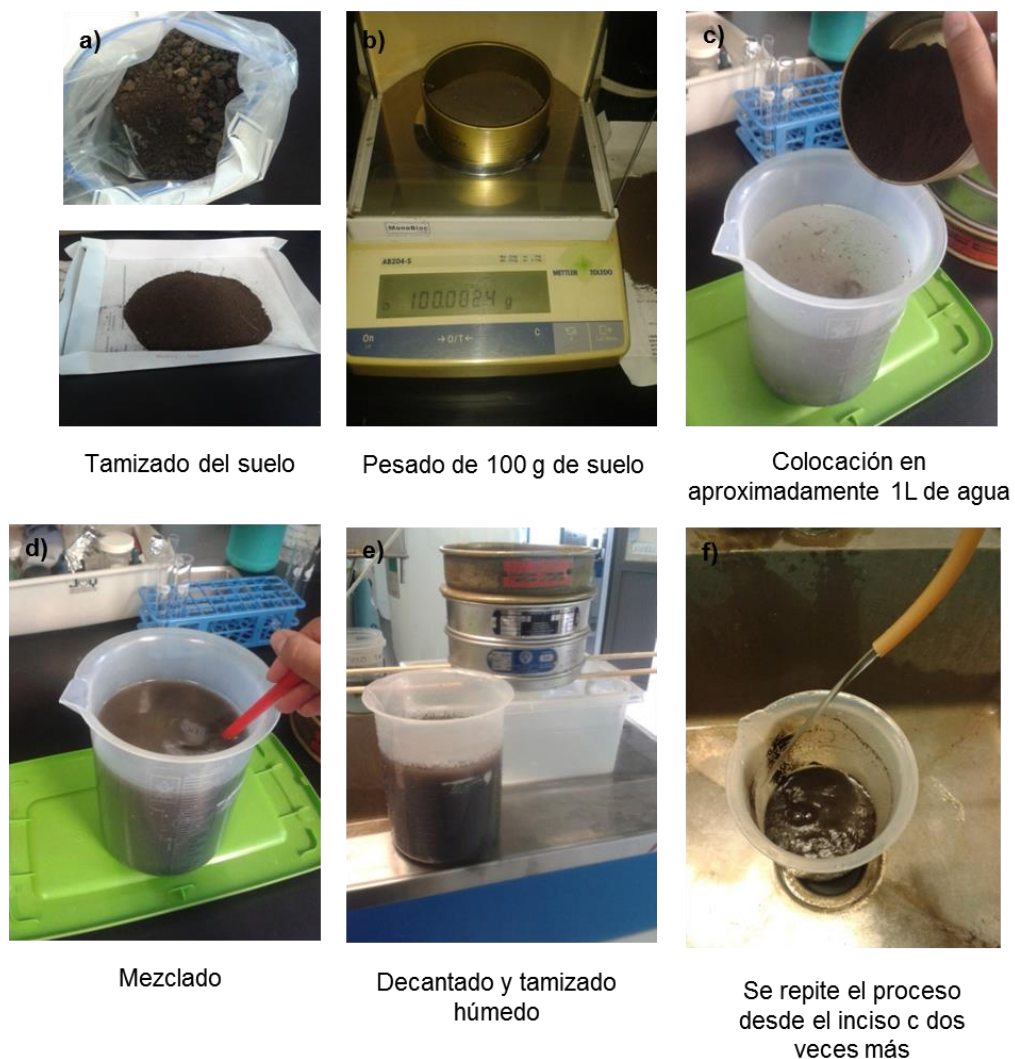


**Figura 6.** Evaluación de la colonización micorrízica arbuscular en raicillas de *Agave cupreata*. Fotos: Toledo-Esquivel, 2021.

### 10.6 Abundancia y diversidad de esporas de HMA en suelo rizosférico de *Agave cupreata*

Para evaluar la abundancia y diversidad de esporas de HMA, se recolectaron seis muestras compuestas de suelo por cada tratamiento de estudio. El suelo traído de campo se secó, se homogenizó, se tamizó (2 mm) y se pesaron 100 g por muestra. Se prosigió con el método de tamizado húmedo y decantación propuesto por Gerdemann y Nicolson (1963).

Los 100 g de suelo fueron homogenizados con agua de la llave en aproximadamente 1 L de agua disgregando todos los grumos. Se agitó vigorosamente y se dejó reposar 10 segundos. Posteriormente, se decantó la solución pasando por diferentes tamaños de abertura de tamices (75, 45 y 30  $\mu\text{m}$ ), con el objetivo de separar así las distintas fracciones donde estuvieron contenidas las esporas de los HMA. Esta operación se repitió en tres ocasiones con el suelo restante y las fracciones de cada tamiz, fueron recuperadas en cajas de Petri que permanecieron en refrigeración hasta el momento de su observación (Fig. 7).



**Figura 7.** Esquema del método de tamizado húmedo y decantación (Gerdemann y Nicolson, 1963). Fotos: Toledo-Esquivel, 2021.

Las tres fracciones de suelo fueron observadas, en pequeñas alícuotas, en el microscopio estereoscópico con el propósito de contar, aislar y separar las esporas en diferentes morfoespecies para posteriormente ser montadas en preparaciones semipermanentes con alcohol polivinílico para observar caracteres taxonómicos. Para cuantificar las diferencias en la diversidad de morfotipos, se aplicaron índices de similitud y biodiversidad, utilizando el programa Past versión 4.04 (Hammer *et al.*, 2001). Se utilizaron los índices de Simpson y Shannon-Wiener.

El índice está basado en la dominancia de las especies con mayor valor de importancia sin tomar en cuenta al resto de las especies. Es inverso a la uniformidad o equidad de la comunidad (Moreno, 2001).

### **Índice de Simpson**

$$\lambda = \sum P_i^2$$

$$1 - \lambda$$

Donde:

$p_i^2$  = abundancia proporcional de la especie  $i$ , en otras palabras, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra.

Índice de equidad. Expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies muestreadas (Moreno, 2001).

### **Índice de Shannon-Wiener**

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde:

$p_i^2$  = abundancia proporcional de la especie  $i$ , en otras palabras, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra.

## 10.7 Daño causado por picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus*) en las plantas de *Agave cupreata*

En algunas de las plantas sometidas a los diferentes tratamientos, se observaron daños causados por picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus*), por lo que para su evaluación se realizó una visita al sitio de estudio. Se estableció una escala de daño de acuerdo al agravio causado en los individuos y a la antigüedad del mismo. Se observaron daños antiguos que fueron generados en el primer año de cultivo, así como daños recientes de su segundo año en campo, así mismo, las afectaciones variaron desde presentar daños en las hojas hasta daños en el cogollo (Fig. 8).



**Figura 8.** Daños causados por picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus*), en plantas de *Agave cupreata*. Fotos: Toledo-Esquivel, 2021.

Los niveles establecidos en la de la escala de daño fueron:

1. Planta sana.
2. Planta con daño antiguo (de primer año) con perforaciones en las hojas.
3. Planta con daño nuevo (de segundo año) con perforaciones en las hojas.
4. Planta con daño nuevo y antiguo solo con perforaciones en las hojas.
5. Planta con daño nuevo y antiguo con perforaciones recientes en el cogollo (2-5).
6. Planta con daño nuevo con perforaciones recientes en el cogollo (2-5).

## 10.8 Análisis de datos

Los tratamientos fueron analizados en cuatro combinaciones: los del manejo de la vegetación (deshierbe, glifosato y poda), los tratamientos bajo un sistema de glifosato con y sin triple 16 (glifosato y glifosato/triple 16), los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica (composta/poda, humus/poda, poda) y los tratamientos bajo un sistema de deshierbe con y sin triple 16 (triple 16/deshierbe y deshierbe). Esto con el propósito de responder a preguntas particulares dentro del estudio. Los datos de incremento de altura y diámetro se presentaron en cuatro periodos de evaluación con el propósito de observar si hay mayor respuesta de algún tratamiento en cierta temporada.

Pruebas de t de Student fueron aplicadas para estudiar la relación entre dos tratamientos de estudio mientras que se realizaron pruebas de ANOVA cuando se comparó la relación entre tres tratamientos. En caso de no cumplir con una distribución normal, se usaron sus equivalentes no paramétricos (Wilcoxon y Kruskal-Wallis). Esto para las variables de crecimiento, colonización micorrízica, abundancia de esporas y daño por picudo y, cuando se encontraron diferencias, se realizaron pruebas de post-hoc. Los análisis anteriores, así como los de supervivencia se realizaron en el programa R versión 4.1.2 (R Core Team, 2021). Para evaluar los índices de diversidad entre los tratamientos se utilizó el programa Past versión 4.04 (Hammer *et al.*, 2001).

En el caso de los análisis de suelo, se tomaron muestras de suelo de tres tratamientos: glifosato, humus / poda y poda los cuales se mandaron a analizar en el laboratorio CIDAM (Centro de Innovación y Desarrollo Agroalimentario de Michoacán), ubicado la antigua carretera a Pátzcuaro, km 8, Michoacán de Ocampo. Los métodos para determinar las propiedades del suelo, basados en la NOM-021-RECNAT-2000, fueron: el método de Walkley-Black para la materia orgánica; para la textura, el método de Bouyoucos; para la densidad aparente, método de la probeta; el método colorimétrico (como nitratos) para el contenido de nitrógeno nítrico; para los carbonatos y bicarbonatos, titulación; para los cloruros, titulación

Mohr; para los sulfatos, el método turbidimétrico; para el fósforo, el método Olsen o Bray; los cationes intercambiables los obtuvieron por extracción con acetato de amonio y MP-AES; los micro-elementos por extracción con DTPA y MP-AES; y, por último, la acidez y aluminio intercambiable, por extracción con cloruro de potasio y titulación (Ver apéndice 1 para ver los análisis de suelo).

## 11.RESULTADOS

### 11.1 Incremento de altura y diámetro de las plantas de *Agave cupreata* en los diferentes tiempos de estudio

#### 11.1.1 Periodo de lluvias (agosto 2021- octubre 2021)

El incremento en altura de las plantas de *Agave cupreata* Trel. & Berger durante la temporada de lluvias mostró significancia en los tratamientos del manejo de la vegetación (cuadro 2), siendo mayor el incremento en el tratamiento con glifosato, seguido de los tratamientos deshierbe y de poda, durante agosto 2021- octubre 2021 (Fig. 9a). El incremento de diámetro fue significativo ( $X^2= 7.93$ ,  $p = 0.01895$ ). La prueba post-hoc utilizada fue el test de Mann-Whitney para determinar la diferenciación entre los tratamientos, encontrando diferencias entre el tratamiento de poda y deshierbe, siendo el tratamiento con glifosato, estadísticamente semejante a ambos (Fig. 10a).

**Cuadro 2.** Anova de la respuesta del incremento en altura de las plantas de *Agave cupreata* en los tratamientos del manejo de la vegetación durante agosto 2021- octubre 2022.

Factor de variación	G.L	C.M	F	P
Tratamiento	2	1455.61	74.157	<0.01
Residuales	235	19.63		

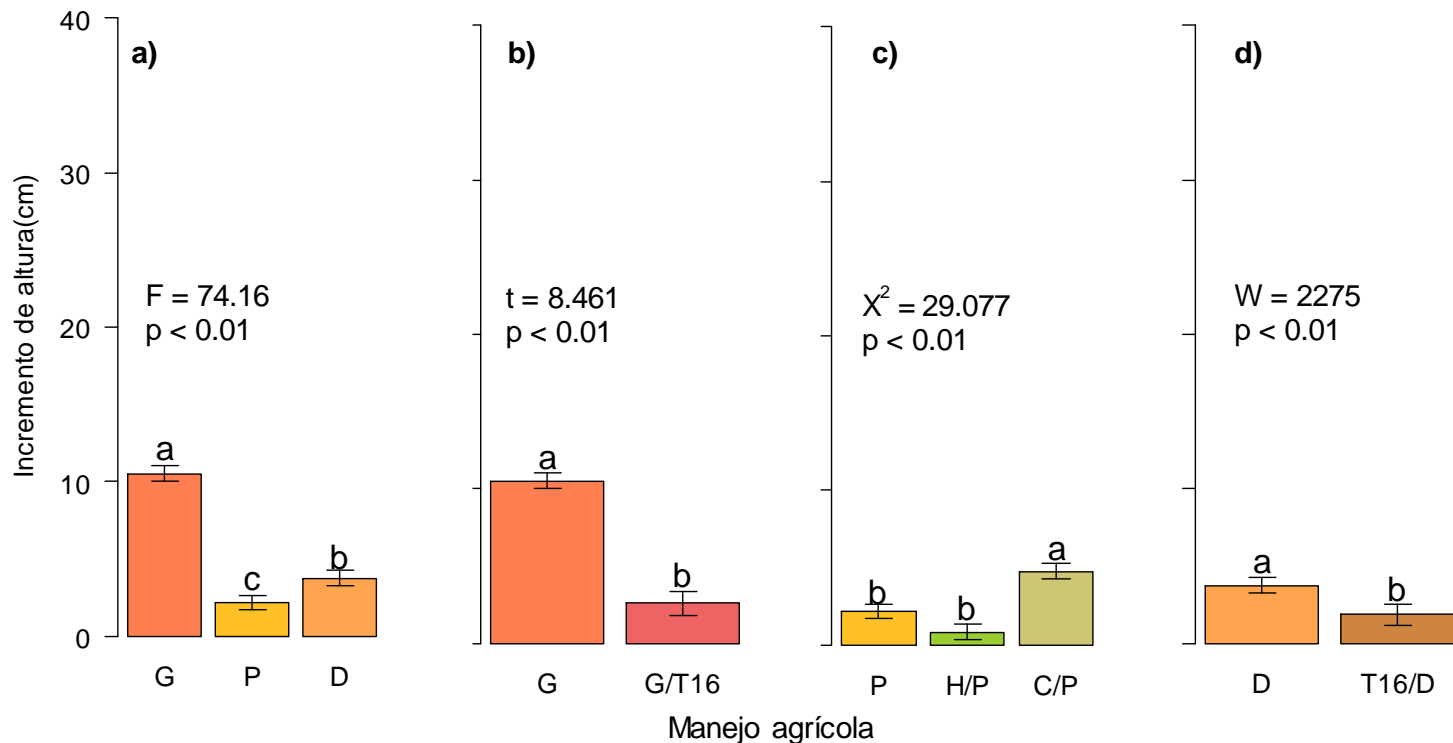
En los tratamientos bajo un sistema de glifosato con y sin T16, el tratamiento solo con glifosato muestra un mayor incremento de altura en relación al tratamiento en el que se combina glifosato con triple 16 (prueba de t,  $t= 8.461$ ,  $p<0.01$ , Fig. 9b). Mientras que, para el incremento de diámetro, la prueba estadística no mostró diferenciación entre los tratamientos (prueba de Wilcoxon,  $W = 3,188.5$ ;  $p = 0.0507$ , Fig. 10b).

Por otra parte, en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica la significación fue alta, tanto para el incremento en altura (prueba de Kruskal-Wallis,  $X^2=29.077$ ,  $p<0.01$ ) como para el incremento en diámetro (cuadro 3). El tratamiento con composta tuvo un mayor incremento significativo en la altura durante este periodo, siendo poda y humus/poda estadísticamente similares (Fig. 9c). Por otra parte, en el incremento en diámetro el tratamiento de poda fue superior, mientras que los tratamientos de humus/poda y composta/poda tuvieron una respuesta semejante en esta variable en el mismo periodo (Fig. 10c).

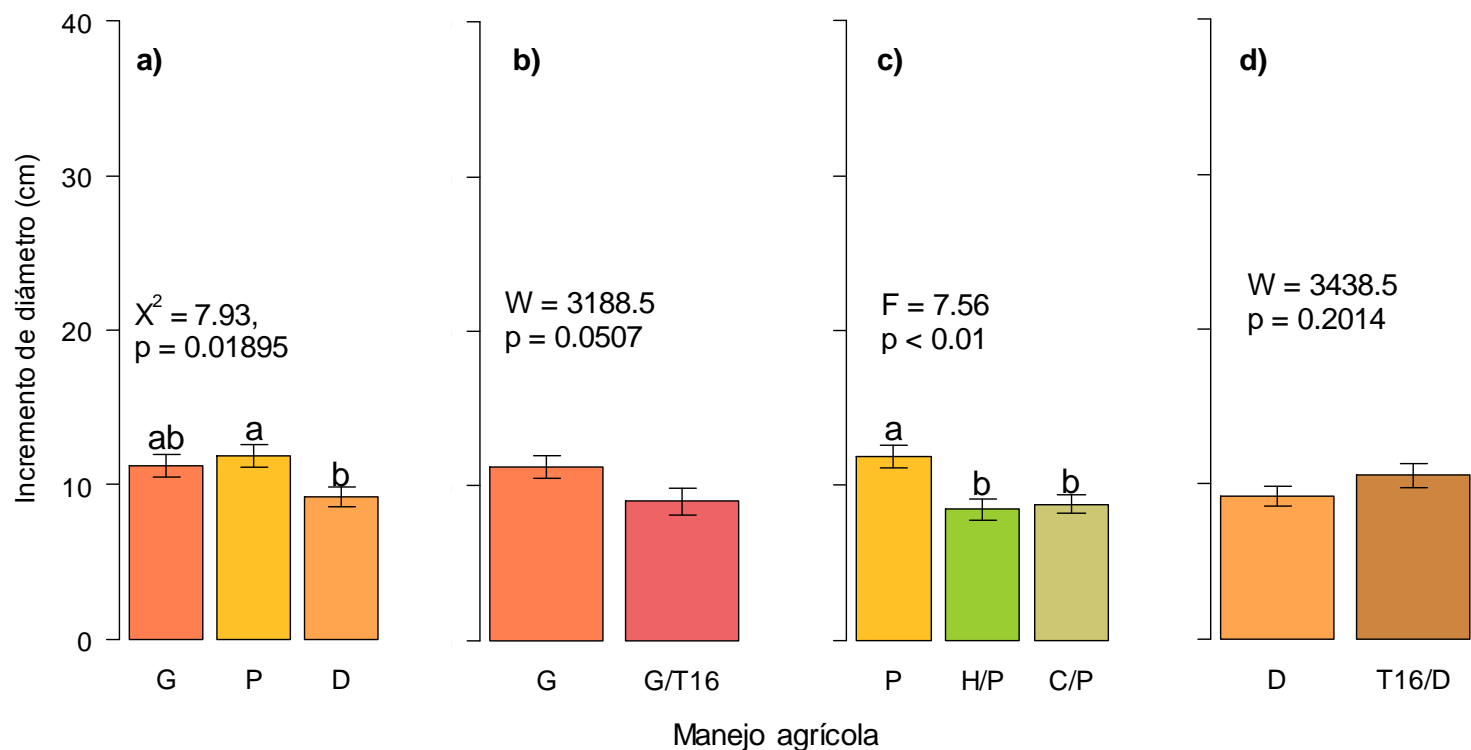
**Cuadro 3.** Anova de la respuesta del incremento en diámetro de las plantas de *Agave cupreata* en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica durante agosto 2021- octubre 2022.

Factor de variación	G.L	C.M	F	P
Tratamiento	2	305.75	7.56	<0.01
Residuales	253	40.44		

Por último, para este mismo periodo, el análisis estadístico reveló una alta significancia en relación al incremento en altura (prueba de Wilcoxon,  $W = 2275$ ;  $p<0.01$ ) en los tratamientos bajo un sistema de deshierbe con y sin triple 16 (T16), siendo el tratamiento sin T16 superior (Fig. 9d). En relación al incremento en diámetro, no hubo diferencias en este periodo entre ambos tratamientos (prueba de Wilcoxon,  $W = 3438.5$ ,  $p = 0.2014$ ) (Fig. 10d).



**Figura 9.** Incremento de altura en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo agosto 2021-octubre 2021. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar.



**Figura 10.** Incremento de diámetro en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo agosto 2021-octubre 2021. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar.

### 11.1.2 Periodo de riego (octubre 2021- abril 2022)

En relación al incremento de altura en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo de octubre 2021-abril 2022, que abarca la temporada de riego, el anova no mostró diferenciación entre los tratamientos del manejo de la vegetación (cuadro 4, Fig. 11a). En el caso del incremento de diámetro, se encontraron diferencias (cuadro 5), siendo deshierbe el tratamiento que mostró una mayor respuesta en esta variable, mientras que poda y glifosato fueron menores y estadísticamente similares (Fig. 12a).

**Cuadro 4.** Anova de la respuesta del incremento en altura de las plantas de *Agave cupreata* en los tratamientos del manejo de la vegetación durante octubre 2021- abril 2022.

Factor de variación	G.L	C.M	F	P
Tratamiento	2	96.69	2.87	0.05871
Residuales	235	33.69		

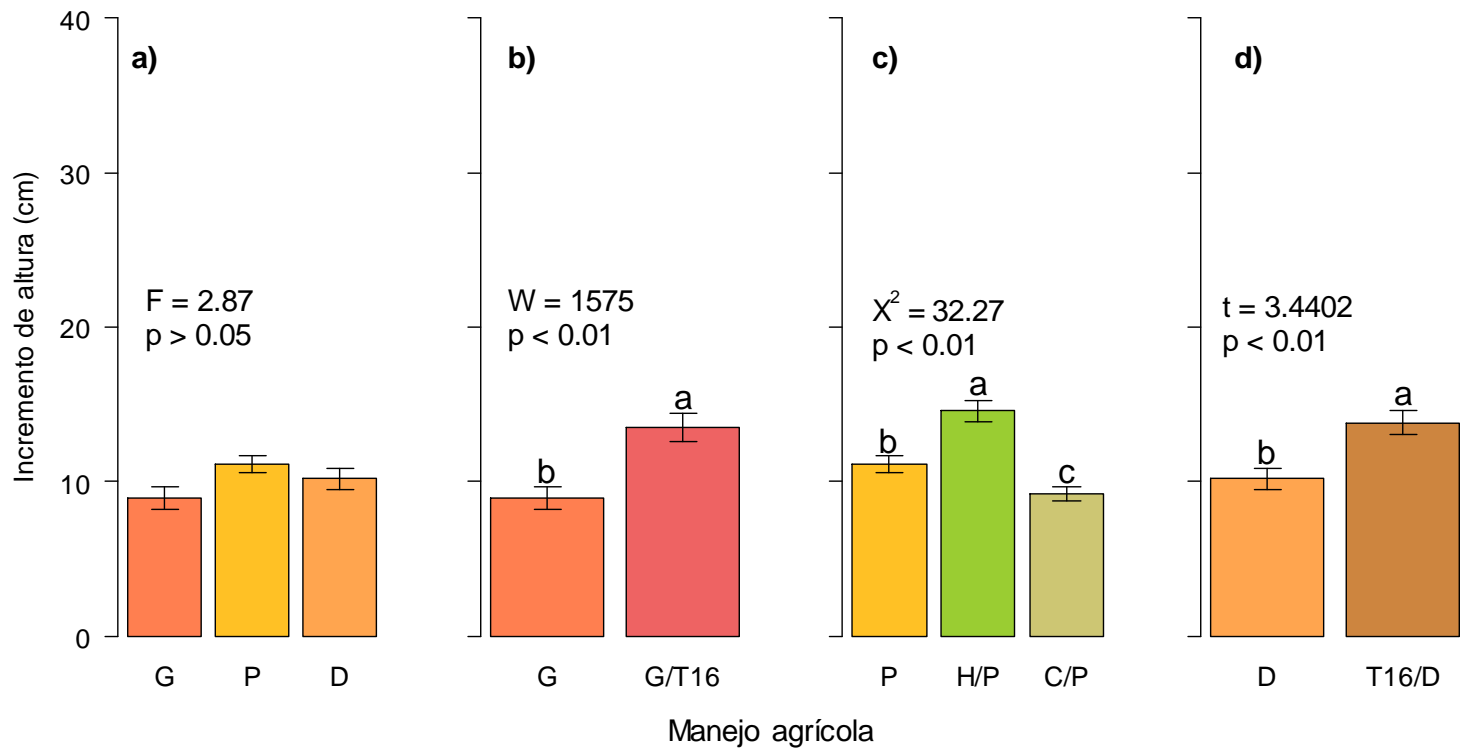
**Cuadro 5.** Anova de la respuesta del incremento en diámetro de las plantas de *Agave cupreata* en los tratamientos del manejo de la vegetación durante octubre 2021- abril 2022.

Factor de variación	G.L	C.M	F	P
Tratamiento	2	708	12.012	<0.01
Residuales	235	58.94		

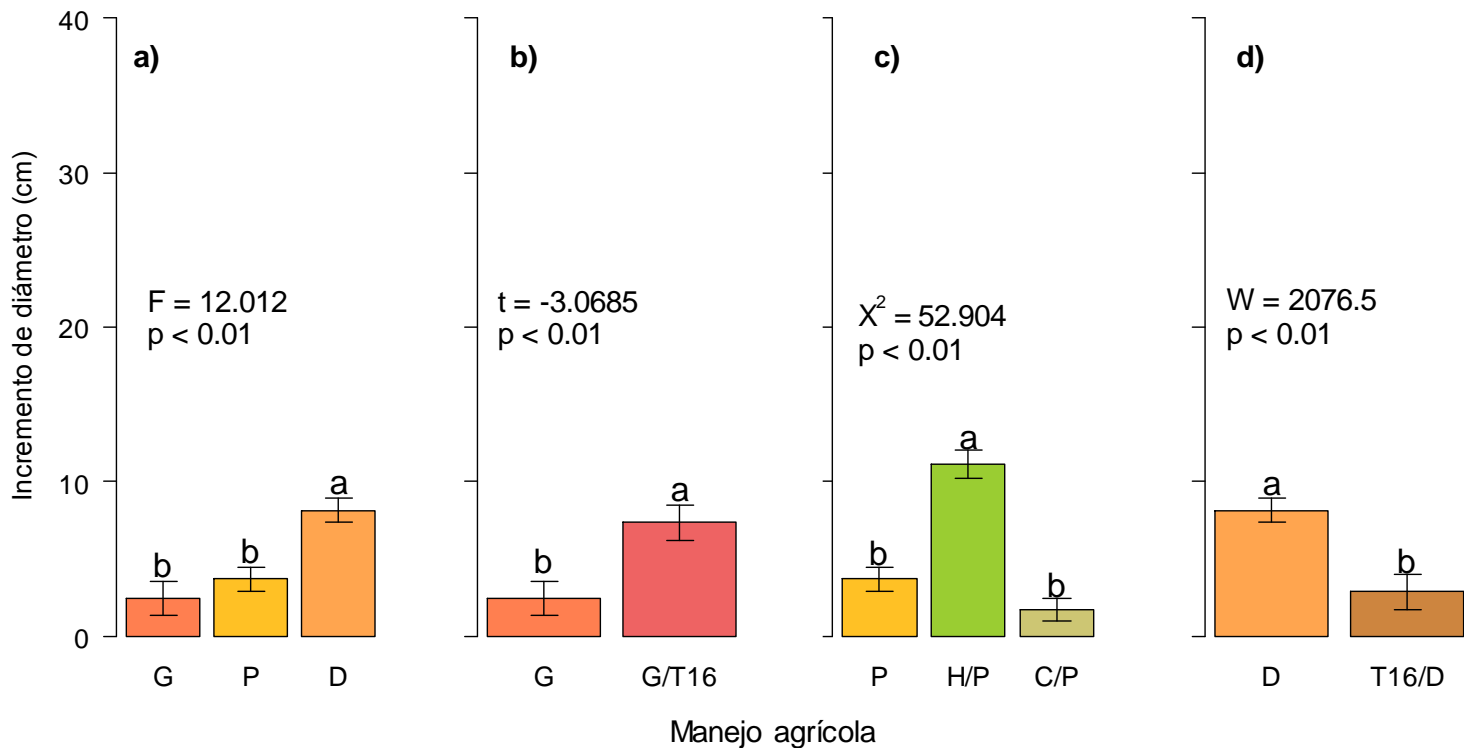
En este mismo periodo, en los tratamientos bajo un sistema de glifosato con y sin T16, se encontraron diferencias en el incremento tanto de la altura (prueba de Wilcoxon,  $W=1575$ ,  $p<0.01$ ) como del diámetro (prueba de t,  $t = -3.0685$ ,  $p<0.01$ ), siendo en ambos casos, superior el tratamiento combinado de glifosato con triple 16 (figs. 11b y 12b).

En el caso de los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica., en los incrementos de altura (prueba de Kruskal-Wallis,  $X^2= 32.27$ ,  $p<0.01$ ) y diámetro (prueba de Kruskal-Wallis,  $X^2= 52.904$ ,  $p<0.01$ ) se obtuvo una alta significancia. Se observó que el tratamiento de humus/poda tuvo una mayor respuesta en el incremento tanto de altura como de diámetro. En la altura, esta respuesta del tratamiento humus/poda fue seguida de los tratamientos poda y composta/poda (Fig. 11c). En relación al incremento de diámetro, los tratamientos de poda y composta/poda tuvieron un incremento estadísticamente similar (Fig. 12c).

En relación a los tratamientos bajo un sistema de deshierbe con y sin triple 16, tanto el incremento en altura (prueba de t de Student,  $t= 3.4402$ ,  $p<0.01$ ) como de diámetro fue significativo (prueba de Wilcoxon,  $W= 2076.5$ ,  $p<0.01$ ). El tratamiento con T16 tuvo un mayor incremento en la altura (Fig. 11d), mientras que el tratamiento sin T16, en donde solo se deshierba, fue superior en el incremento de diámetro (Fig. 12d). Ambos registros realizados durante el periodo octubre 2021-abril 2022.



**Figura 11.** Incremento de altura en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo octubre 2021-abril 2022. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar.



**Figura 12.** Incremento de diámetro en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo octubre 2021-abril 2022. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar.

### 11.1.3 Periodo agosto 2021-abril 2022.

Los análisis estadísticos reflejan diferenciación entre los tratamientos del manejo de la vegetación, tanto en el incremento de altura (prueba de Kruskal-Wallis,  $X^2=36.699$ ,  $p<0.01$ ), como de diámetro (cuadro 6). El tratamiento glifosato muestra un mayor incremento en la altura con respecto a los tratamientos de deshierbe y poda. (Fig. 13a). Mientras que, con respecto al incremento de diámetro, deshierbe y glifosato fueron estadísticamente diferentes, siendo mayor el primero, mientras que poda no difiere de ambos (Fig. 14a).

**Cuadro 6.** Anova de la respuesta del incremento en diámetro de las plantas de *Agave cupreata* en los tratamientos del manejo de la vegetación durante agosto 2021- abril 2022.

Factor de variación	G.L	C.M	F	P
Tratamiento	2	249.98	3.46	0.03309
Residuales	235	72.28		

En los tratamientos bajo un sistema de glifosato con y sin T16, el tratamiento solo con glifosato mostró un mayor incremento de altura en comparación con el tratamiento combinado con T16 (prueba de t,  $t = 2.949$ ,  $p<0.01$ , Fig. 13b). Para el incremento de diámetro, no se observa diferenciación entre los tratamientos (prueba de Wilcoxon,  $W=2,290$ ;  $p= 0.1241$ ), esto durante agosto 2021- abril 2022 (Fig. 14b).

Por otra parte, no hubo diferenciación entre los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica en el incremento de altura (cuadro 7, Fig. 13c). Caso contrario en el incremento de diámetro, en donde fue significativamente mayor el tratamiento humus/poda seguido de los tratamientos poda y composta/poda (cuadro 8, Fig. 14c).

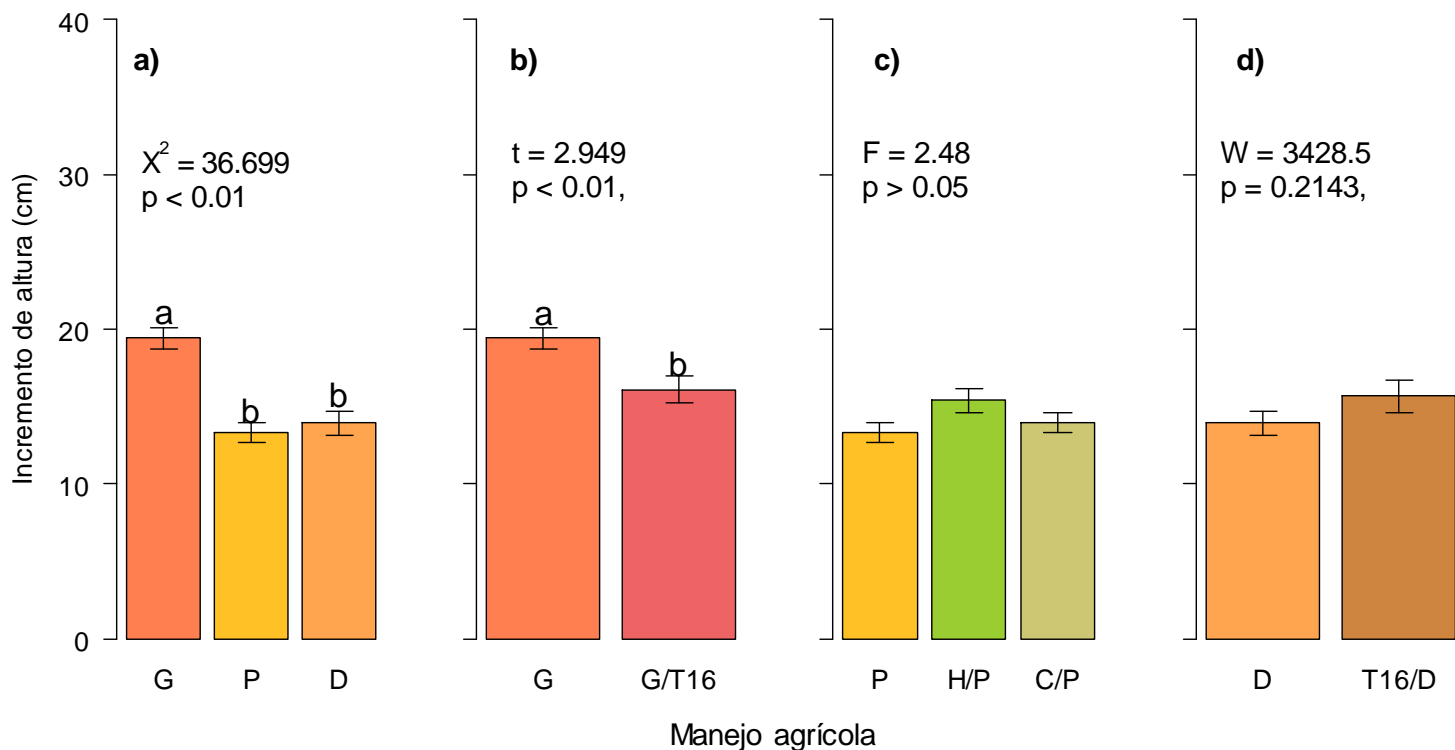
**Cuadro 7.** Anova de la respuesta del incremento en altura de las plantas de *Agave cupreata* en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica durante agosto 2021- abril 2022.

Factor de variación	G.L	C.M	F	P
Tratamiento	2	94.52	2.48	0.08555
Residuales	253	38.07		

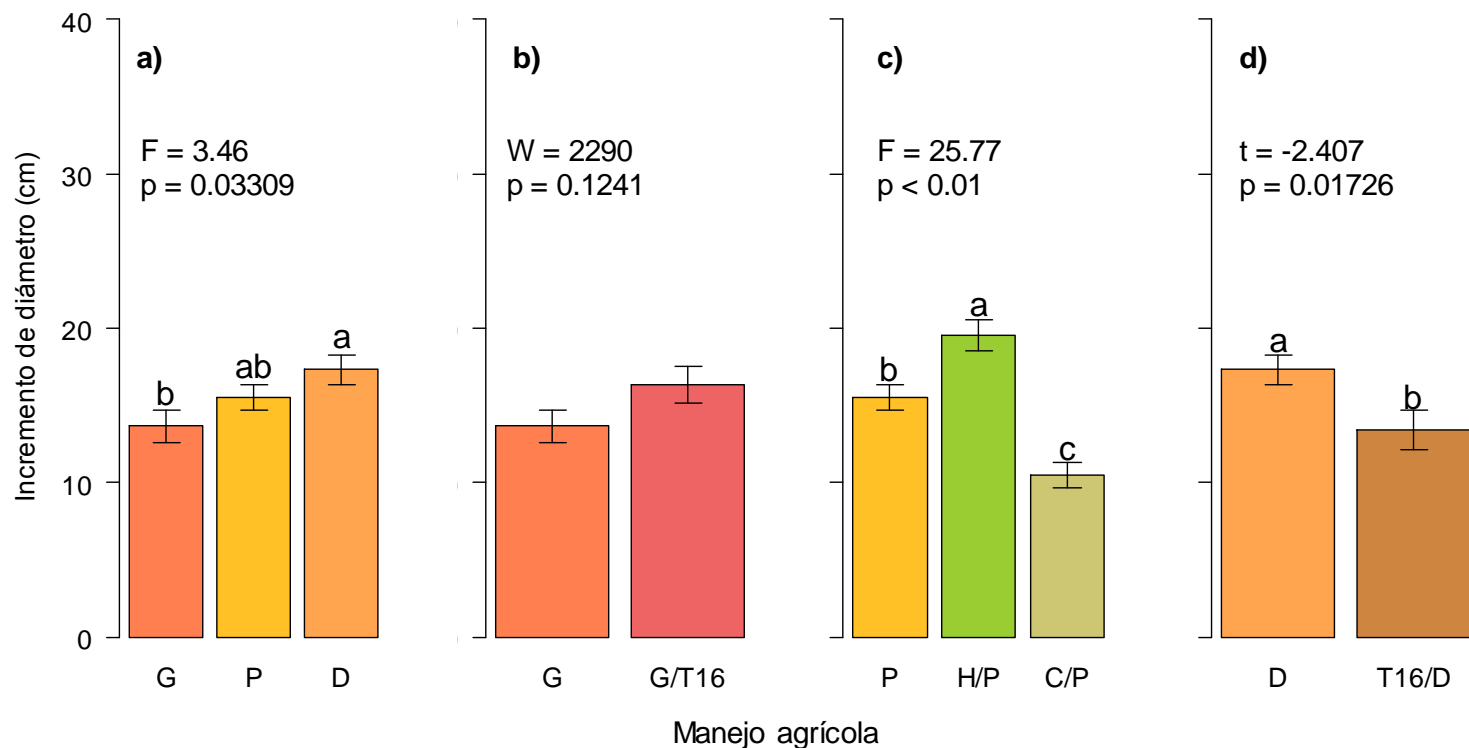
**Cuadro 8.** Anova de la respuesta del incremento en diámetro de las plantas de *Agave cupreata* en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica durante agosto 2021- abril 2022.

Factor de variación	G.L	C.M	F	P
Tratamiento	2	1722.8	25.77	<0.01
Residuales	253	66.84		

Finalmente, en relación a los tratamientos bajo un sistema de deshierbe con y sin T16, no se encontró significancia en el incremento en altura (prueba de Wilcoxon,  $W = 3428.5$ ,  $p=0.2143$ , Fig. 13d), mientras que, el incremento de diámetro fue mayor en el tratamiento donde solo se deshierbó (prueba de t de Student,  $t = -2.407$ ,  $p=0.01726$ ) (Fig. 14d).



**Figura 13.** Incremento de altura en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo agosto 2021-abril 2022. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar.



**Figura 14.** Incremento de diámetro en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo agosto 2021-abril 2022. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar.

#### 11.1.4 Periodo agosto 2021- agosto 2022.

En relación al manejo de la vegetación, tanto para el incremento de altura como de diámetro, el ANOVA registró diferencias significativas (cuadros 9 y 10).

**Cuadro 9.** Anova de la respuesta del incremento en altura de las plantas de *Agave cupreata* en los tratamientos del manejo de la vegetación durante agosto 2021- agosto 2022.

Factor de variación	G.L	C.M	F	P
Tratamiento	2	1894.17	35.85	<0.01
Residuales	235	52.83		

**Cuadro 10.** Anova de la respuesta del incremento en diámetro de las plantas de *Agave cupreata* en los tratamientos del manejo de la vegetación durante agosto 2021- agosto 2022.

Factor de variación	G.L	C.M	F	P
Tratamiento	2	3223.7	26.99	<0.01
Residuales	235	199.4		

A un año de evaluación, periodo de agosto 2021-agosto 2022, las plantas mostraron un mayor incremento de altura en el tratamiento con glifosato, siendo menor y semejante entre los tratamientos de poda y deshierbe (Fig. 15a). En relación al incremento en diámetro, los tratamientos que tuvieron un mayor incremento en esta variable fueron glifosato y poda, siendo el tratamiento de deshierbe significativamente menor a estos (Fig. 16a).

En relación a los tratamientos bajo un sistema de glifosato con y sin T16, se encontró diferenciación entre los tratamientos en el incremento de altura (prueba de t,  $t = -2.91$ ,  $p < 0.01$ ), siendo mayor en el tratamiento combinado con T16 (Fig. 15b).

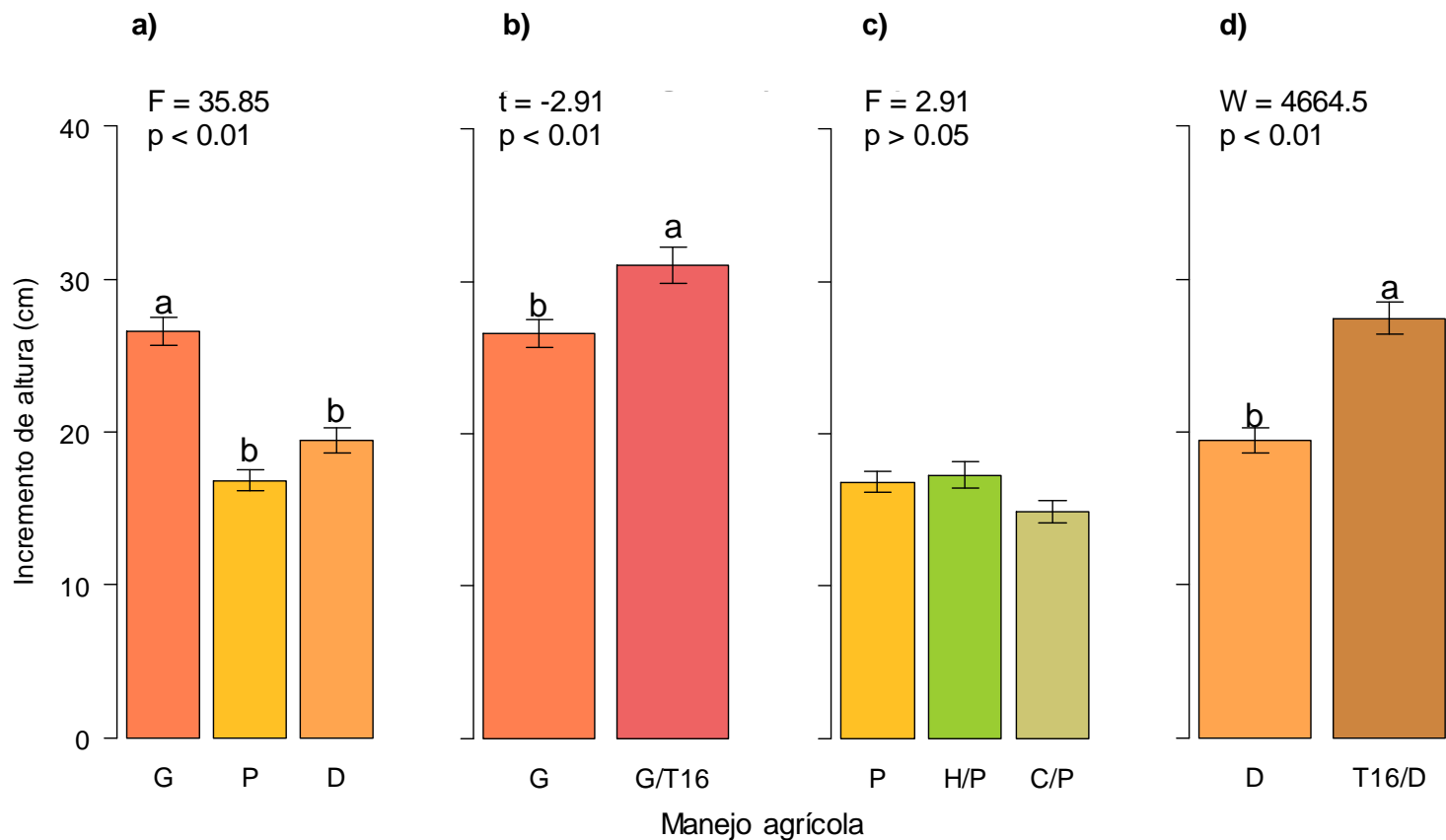
En relación al incremento de diámetro, no hubo diferencias entre los tratamientos (prueba de Wilcoxon,  $W = 2835.5$ ,  $p = 0.5625$ , Fig. 16b).

En este periodo de evaluación, en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica no se observaron diferencias en el incremento de la altura (cuadro 11, Fig. 15c). Con respecto al incremento en diámetro, la significancia fue alta ( $X^2 = 15.364$ ,  $p < 0.01$ ), según la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. El tratamiento de poda obtuvo una mayor respuesta, siendo humus/poda y composta/poda semejantes y menores al primero (Fig. 16c).

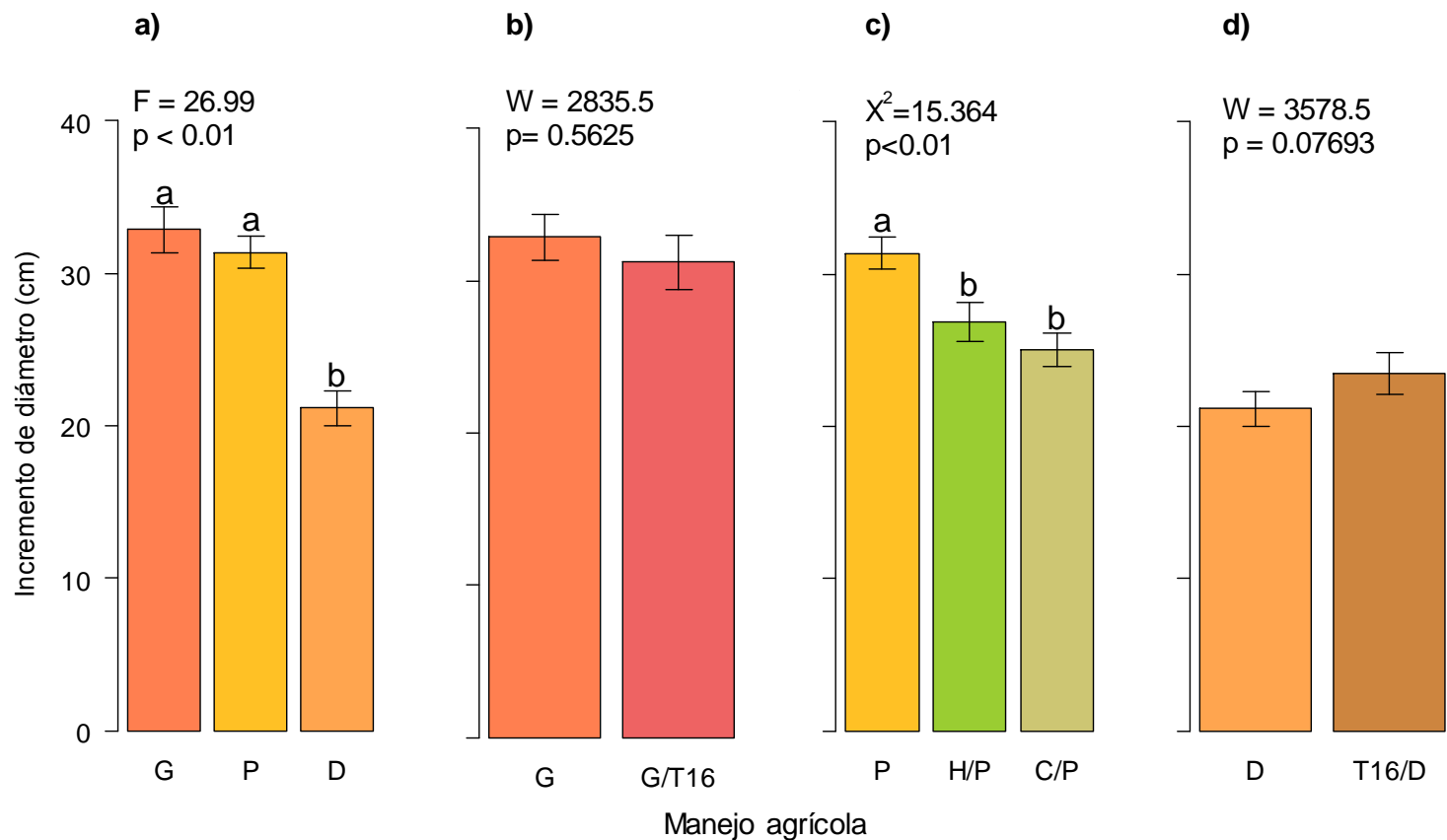
**Cuadro 11.** Anova de la respuesta del incremento en altura de las plantas de *Agave cupreata* en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica durante agosto 2021- agosto 2022.

Factor de variación	G.L	C.M	F	P
Tratamiento	2	145.6	2.91	0.05612
Residuales	253	49.98		

En el caso de los tratamientos bajo un sistema de deshierbe con y sin T16, el incremento de altura muestra significancia (prueba no paramétrica de Wilcoxon,  $W = 4664.5$ ,  $p < 0.01$ ) siendo mayor en el tratamiento con T16 (Fig. 15d). En el incremento de diámetro, no hubo diferenciación entre los tratamientos (prueba de Wilcoxon,  $W = 3578.5$ ,  $p = 0.07693$ , Fig. 16d), durante el periodo comprendido entre agosto 2021- agosto 2022.



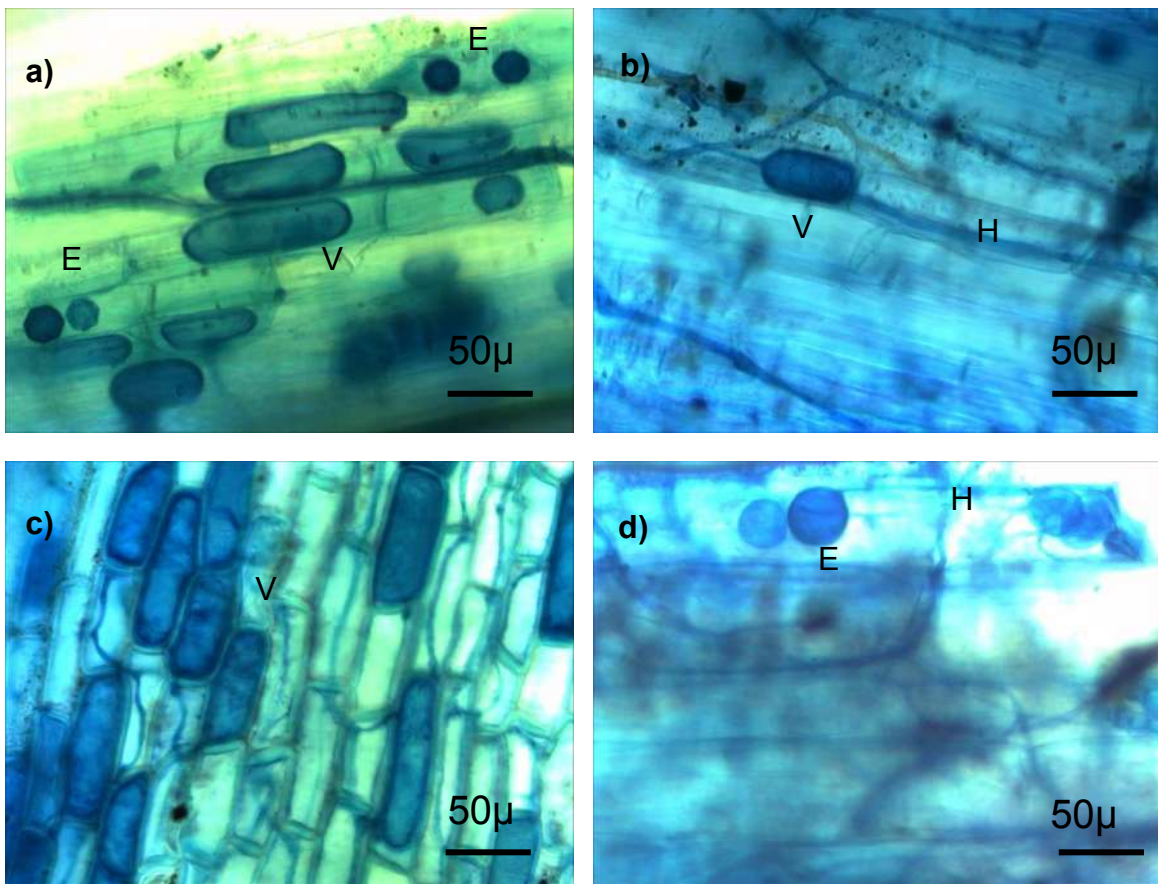
**Figura 15.** Incremento de altura en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo agosto 2021-agosto 2022. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar.



**Figura 16.** Incremento de diámetro en plantas de *Agave cupreata* durante el periodo agosto 2021-agosto 2022. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar.

## 11.2 Colonización micorrízica arbuscular en las raíces de plantas de *Agave cupreata*

Con respecto a la colonización micorrízica, en todos los tratamientos evaluados se observaron estructuras de HMA (hifas, arbuscúlos, vesículas y esporas) en las raíces de las plantas de *A. cupreata* (Fig. 17). Sin embargo, los análisis estadísticos muestran que solo el manejo de la vegetación influyó en la colonización micorrízica (cuadro 12, apéndice II).



**Figura 17.** Micorrización arbuscular en *Agave cupreata*. Presencia de hifas (H), vesículas (V) y esporas (E). a) Tratamiento glifosato/triple 16; b) Tratamiento humus/poda; c) Tratamiento deshierbe y d) Tratamiento humus/poda. Recolecta de raíces efectuada en agosto, 2021.

La colonización micorrízica promedio en los tratamientos del manejo de la vegetación fue altamente significativa (cuadro 12). Con respecto a su diferenciación, se observó que el tratamiento glifosato presenta una colonización micorrízica significativamente menor con respecto a los tratamientos de poda y deshierbe, los cuales fueron significativamente similares (Fig. 18a).

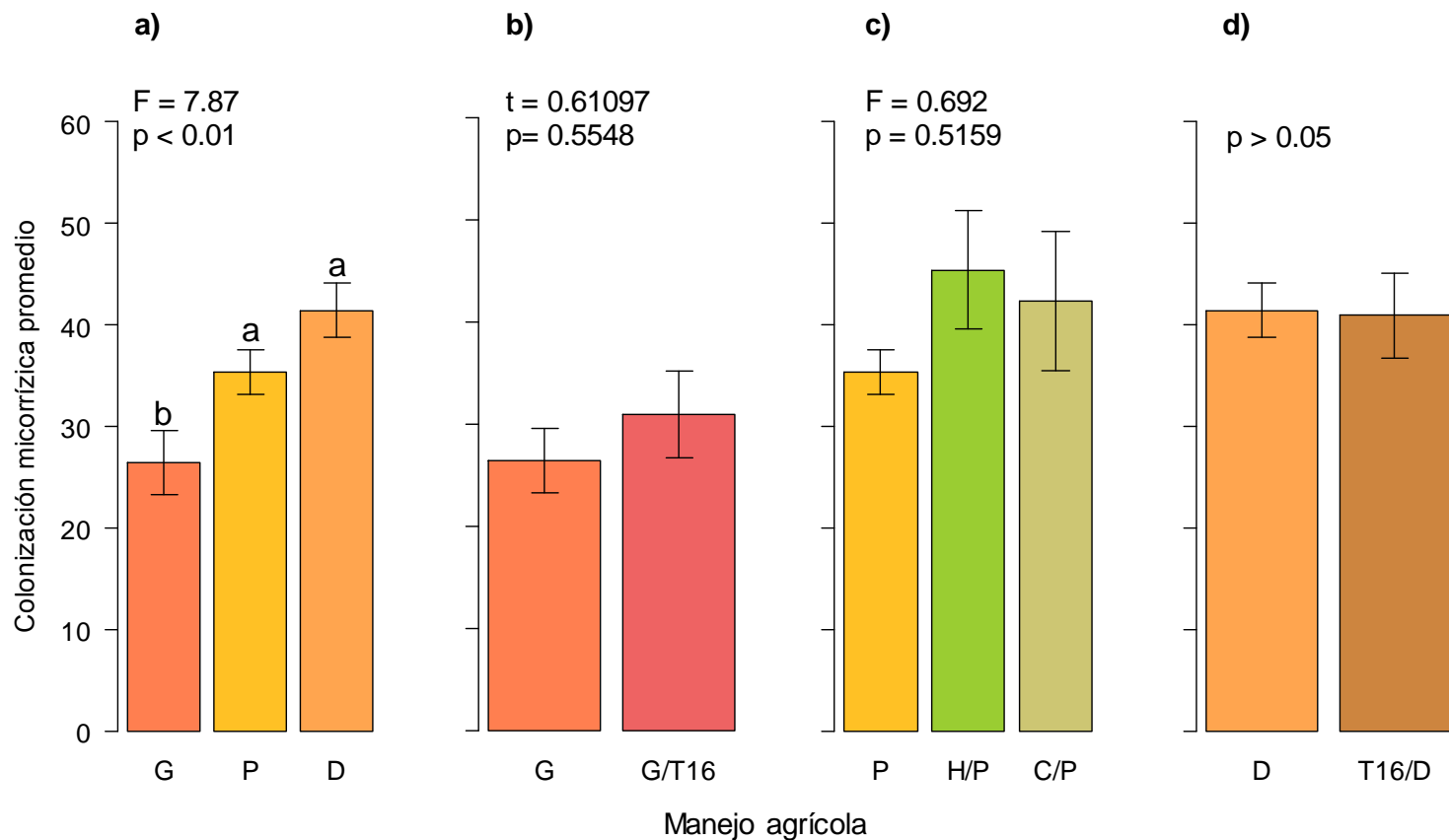
**Cuadro 12.** Anova de la respuesta de la colonización micorrízica total en las raíces de plantas de *Agave cupreata* en los tratamientos del manejo de la vegetación durante agosto 2021.

Factor de variación	G.L	C.M	F	P
Tratamiento	2	0.0030	7.87	<0.01
Residuales	15	0.00038		

En relación a los tratamientos bajo un sistema de glifosato con y sin T16, no se observó diferenciación (prueba de t,  $t = 0.61097$ ,  $p = 0.5548$ , Fig. 18b) al igual que en aquellos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica (cuadro 13). Sin embargo, hay cierta tendencia de que los tratamientos con fertilizantes orgánicos presentaran una mayor colonización (Fig. 18c). En relación a los tratamientos bajo un sistema de deshierbe con y sin T16 (prueba de wilcoxon,  $p > 0.05$ ; Fig. 18d), tampoco se observaron diferencias.

**Cuadro 13.** Anova de la respuesta de la colonización micorrízica total en las raíces de plantas de *Agave cupreata* en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica durante agosto 2021.

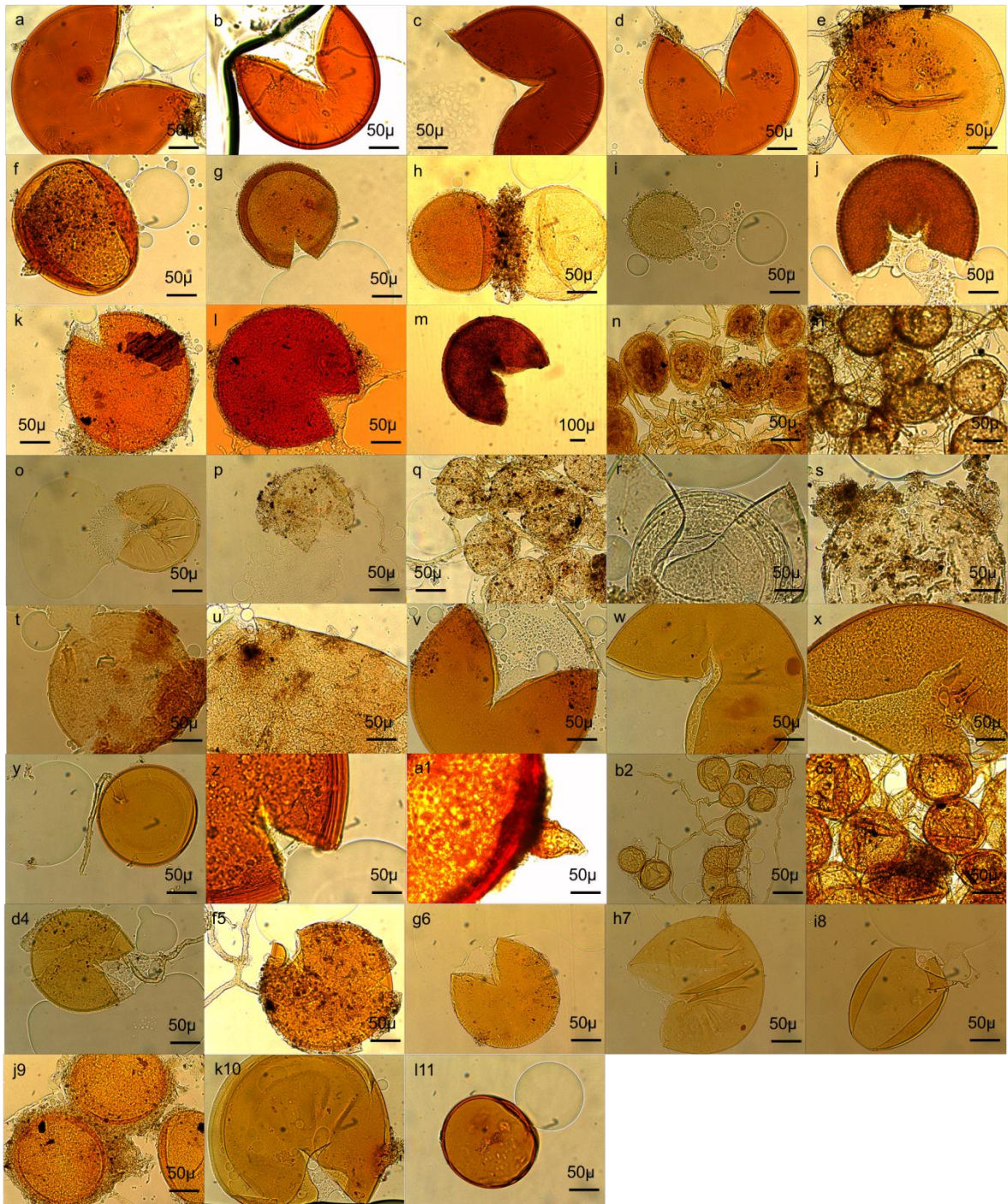
Factor de variación	G.L	C.M	F	P
Tratamiento	2	0.00043	0.692	0.5159
Residuales	15	0.00062		



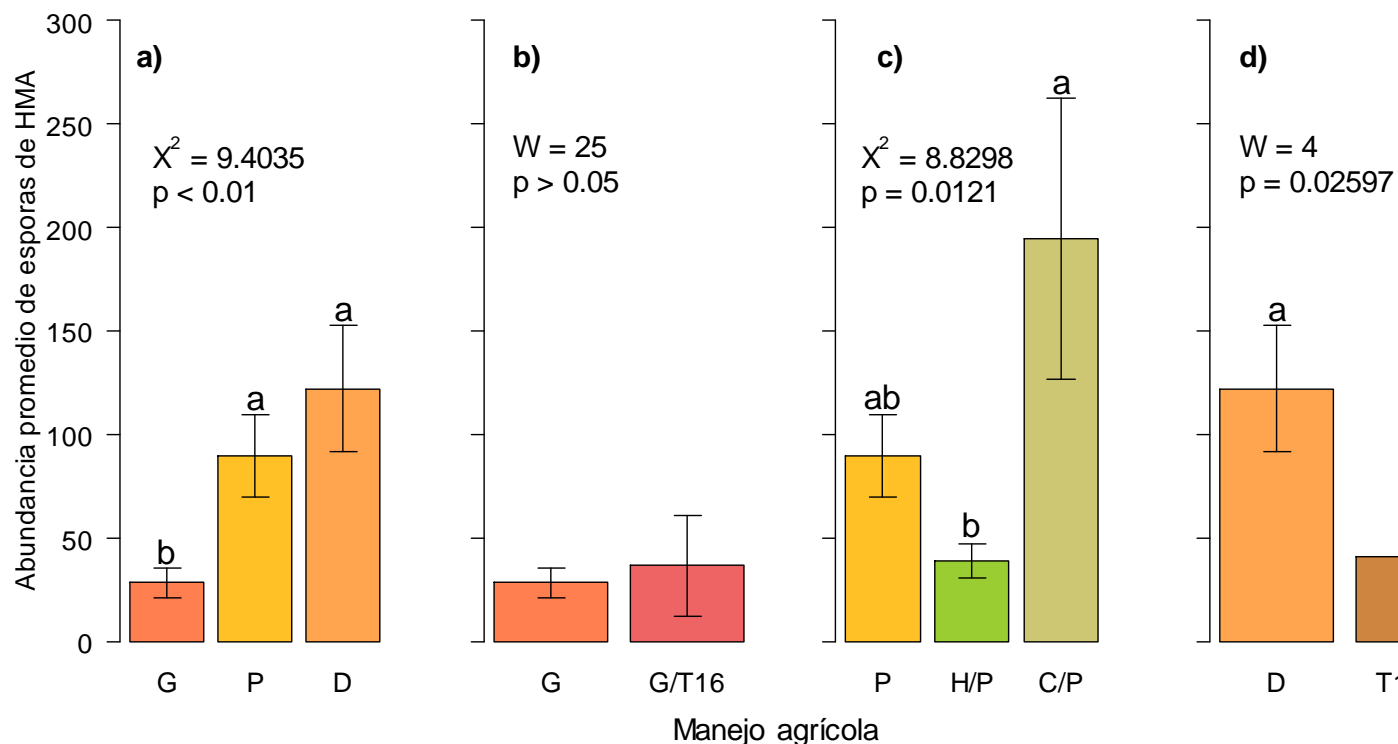
**Figura 18.** Colonización micorrízica de HMA en plantas de *Agave cupreata* durante agosto 2021. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar.

### 11.3 Abundancia y diversidad de esporas de HMA en suelo rizosférico de *Agave cupreata*

En las muestras de suelo rizosférico de las plantas de *Agave cupreata* sometidas a los diferentes tratamientos, se encontraron 38 morfotipos de esporas, siendo diferentes en su color, ornamentación y tamaño (Fig. 19). En relación a la diferenciación entre la abundancia de esporas en los tratamientos, en los del manejo de la vegetación, poda y deshierbe fueron similares y diferentes de glifosato (prueba de Kruskal-Wallis,  $X^2 = 9.4035$ ,  $p < 0.01$ ), siendo éste último el que presentó una menor abundancia de esporas promedio (Fig. 20a). Por otra parte, no se encontraron diferencias entre los tratamientos de glifosato y glifosato/T16 (prueba de Wilcoxon,  $W = 25$ ,  $p > 0.05$ ) (Fig. 20b). Los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica presentaron diferencias entre sí (prueba de Kruskal-Wallis,  $X^2 = 8.8298$ ,  $p = 0.0121$ ), siendo el tratamiento con composta el que presentó una mayor abundancia de esporas promedio y el tratamiento con humus, la menor (Fig. 20c). Por último, en el caso de los tratamientos bajo un sistema de deshierbe con y sin T16, deshierbe presentó una abundancia de esporas superior al tratamiento en donde en el que se aplica T16 y se deshierba (prueba de Wilcoxon,  $W = 4$ ,  $p = 0.02597$ ) (Fig. 20d). Los morfotipos encontrados (Fig. 19), estuvieron distribuidos en los diferentes tratamientos de estudio (figuras 21-24). Los morfotipos que tuvieron una mayor abundancia de esporas fueron el 18, 33, 35 y 34 mientras que los menos abundantes fueron 9, 12, 21, 22 y 38. Los morfotipos que estuvieron presentes en todos los tratamientos fueron 1, 3, 17, 18, 19, 24, 25, 26, 33, 34 y 35. Aquellos que solo estuvieron presentes en un tratamiento fueron 2, 5, 9, 12, 13, 14, 15, 21, 22, 30, 37 y 38 (cuadro 14).



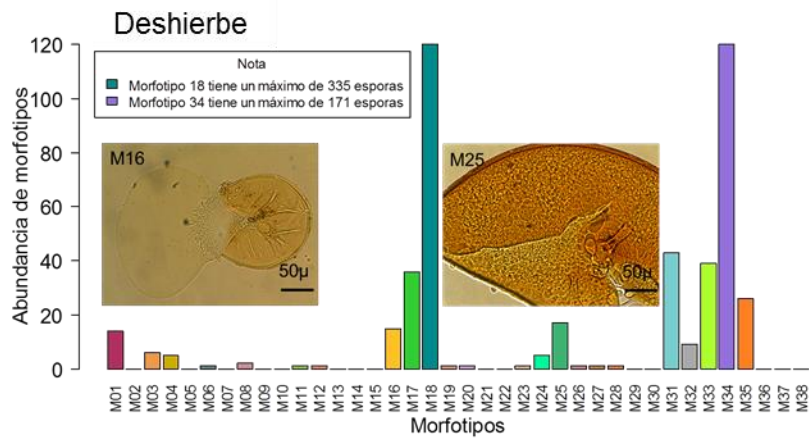
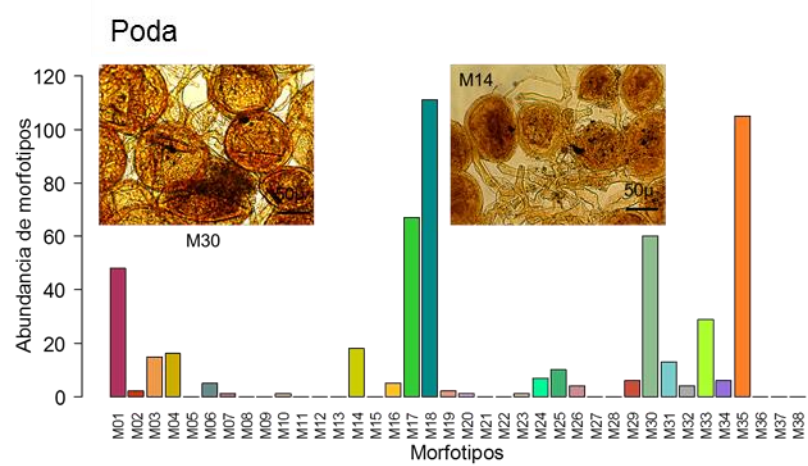
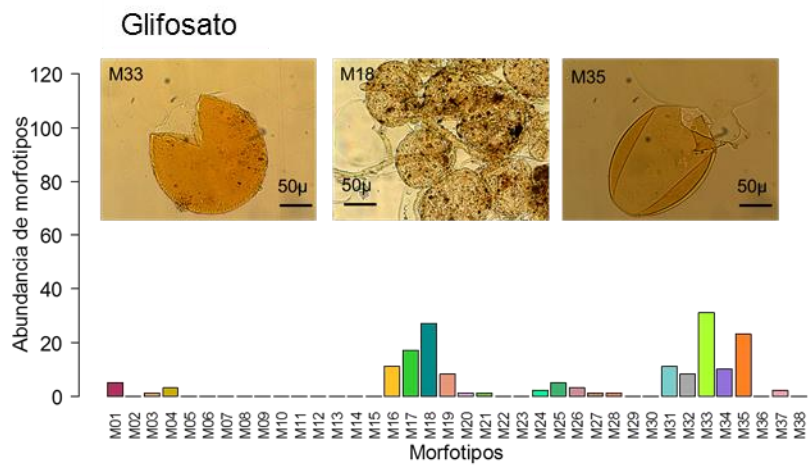
**Figura 19.** Diversidad de morfotipos de esporas de HMA encontrados en el suelo rizosférico de plantas de *Agave cupreata* sometidas a los diferentes tratamientos de estudio, en la Hacienda de Queréndaro, Michoacán.



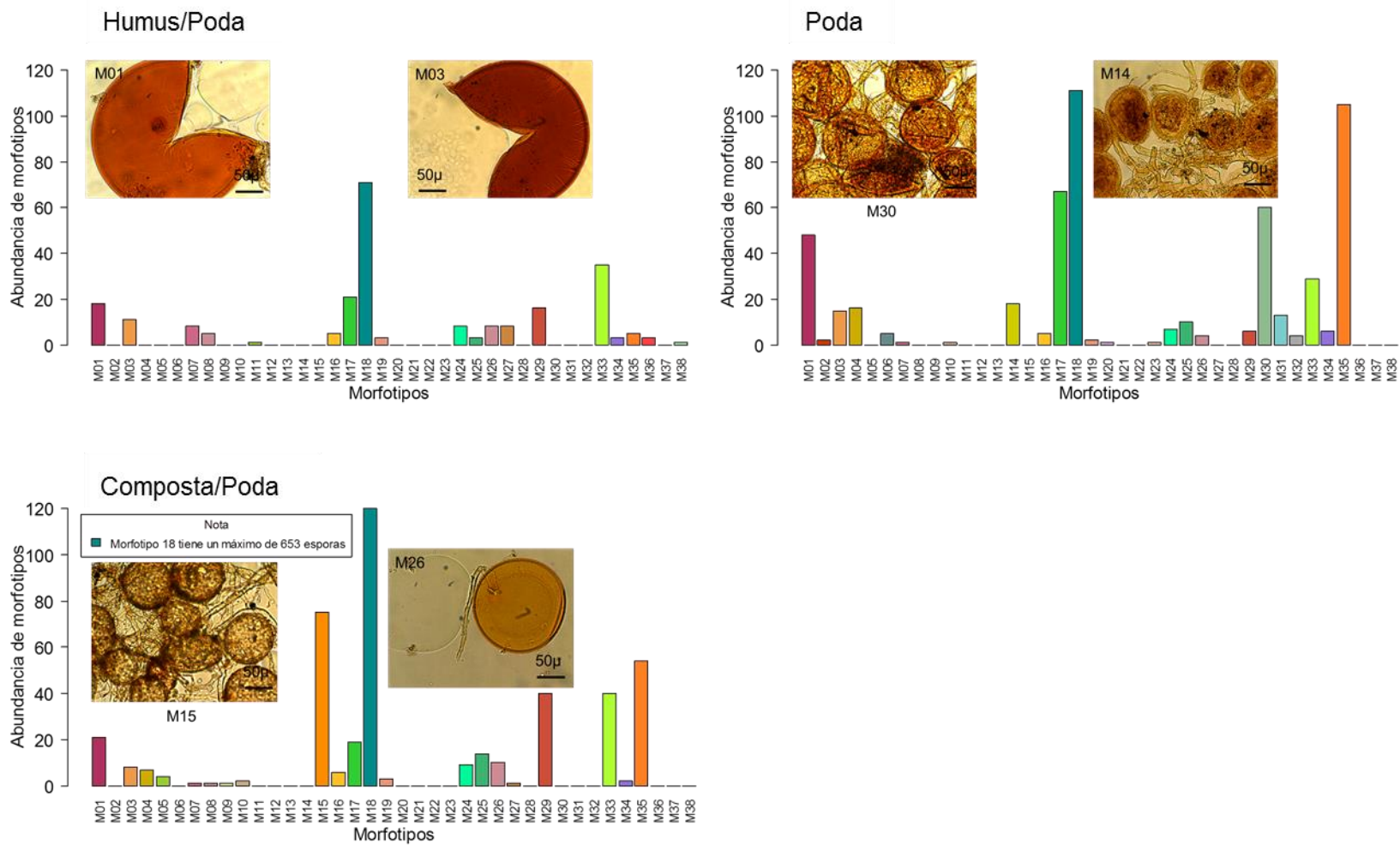
**Figura 20.** Abundancia promedio de esporas de HMA en suelos rizosféricos de *Agave cupreata* durante agosto 2021. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar.

**Cuadro 14.** Abundancia de esporas por morfotipo de suelos rizosféricos de *Agave cupreata* en los diferentes tratamientos de estudio. T1: glifosato, T2: glifosato/triple 16, T3: triple16/deshierbe, T4: humus/poda, T5: poda, T6: composta/poda y T7: deshierbe.

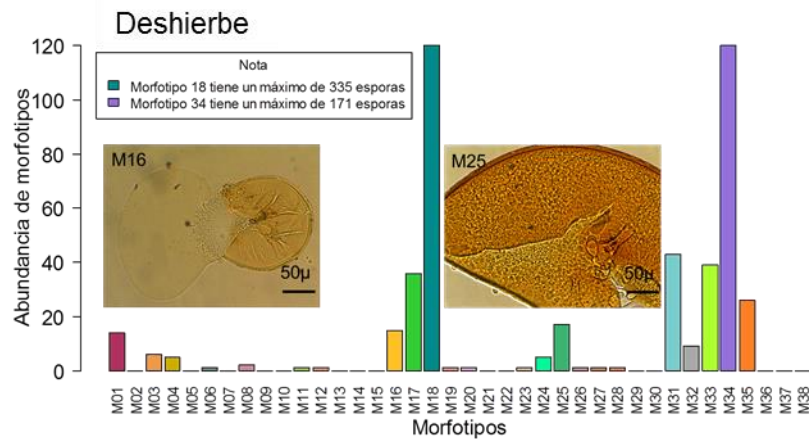
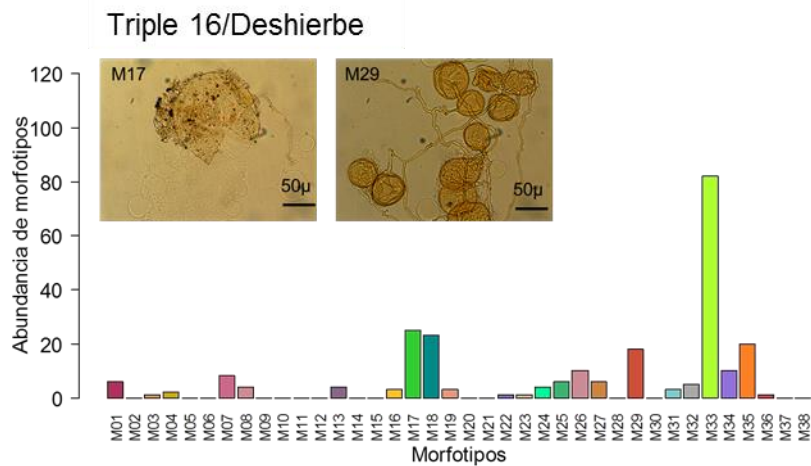
Morfotipo	Tratamiento							Abundancia de esporas	Figura 19 Inciso
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7		
1	5	10	6	18	48	21	14	122	a
2	0	0	0	0	2	0	0	2	b
3	1	5	1	11	15	8	6	47	c
4	3	1	2	0	16	7	5	34	d
5	0	0	0	0	0	4	0	4	e
6	0	0	0	0	5	0	1	6	f
7	0	5	8	8	1	1	0	23	g
8	0	0	4	5	0	1	2	12	h
9	0	0	0	0	0	1	0	1	i
10	0	0	0	0	1	2	0	3	j
11	0	0	0	1	0	0	1	2	k
12	0	0	0	0	0	0	1	1	l
13	0	0	4	0	0	0	0	4	m
14	0	0	0	0	18	0	0	18	n
15	0	0	0	0	0	75	0	75	ñ
16	11	0	3	5	5	6	15	45	o
17	17	9	25	21	67	19	36	194	p
18	27	113	23	71	111	653	335	1,333	q
19	8	2	3	3	2	3	1	22	r
20	1	0	0	0	1	0	1	3	s
21	1	0	0	0	0	0	0	1	t
22	0	0	1	0	0	0	0	1	u
23	0	0	1	0	1	0	1	3	v
24	2	5	4	8	7	9	5	40	w
25	5	8	6	3	10	14	17	63	x
26	3	3	10	8	4	10	1	39	y
27	1	6	6	8	0	1	1	23	z
28	1	0	0	0	0	0	1	2	a1
29	0	0	18	16	6	40	0	80	b2
30	0	0	0	0	60	0	0	60	c3
31	11	15	3	0	13	0	43	85	d4
32	8	0	5	0	4	0	9	26	f5
33	31	21	82	35	29	40	39	277	g6
34	10	9	10	3	6	2	171	211	h7
35	23	7	20	5	105	54	26	240	i8
36	0	0	1	3	0	0	0	4	j9
37	2	0	0	0	0	0	0	2	k10
38	0	0	0	1	0	0	0	1	l11



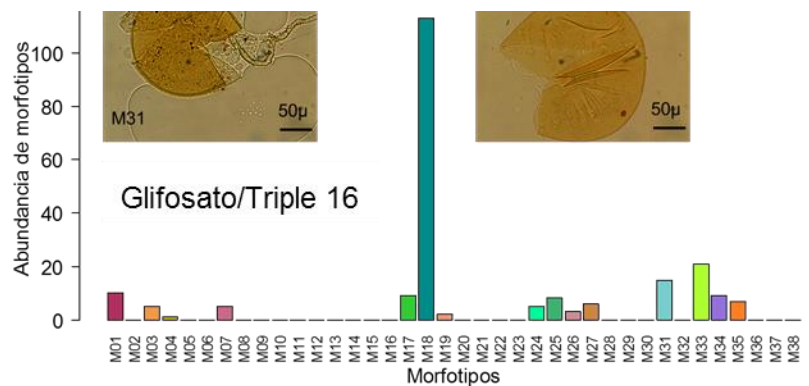
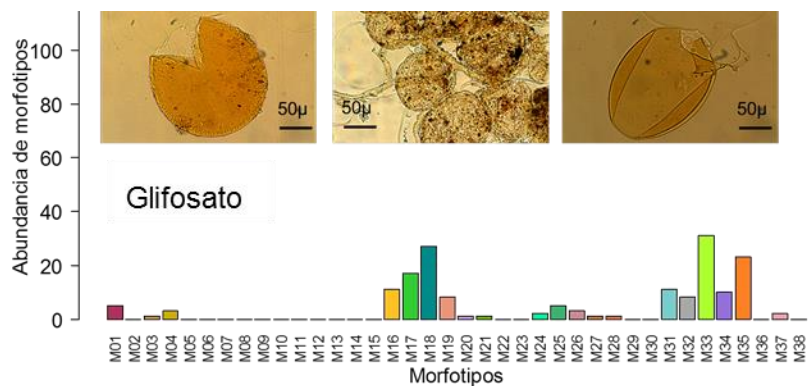
**Figura 21.** Abundancia de esporas totales por morfotipos en los tratamientos del manejo de la vegetación: glifosato, poda y deshierbe.



**Figura 22.** Abundancia de esporas totales por morfotipos en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica: humus/poda, poda y composta/poda.



**Figura 23.** Abundancia de esporas totales por morfotipos en los tratamientos bajo un sistema de deshierbe con y sin triple 16: triple 16/deshierbe y deshierbe.



**Figura 24.** Abundancia de esporas totales por morfotipos en los tratamientos bajo un sistema de glifosato con y sin triple 16: glifosato y glifosato/triple 16.

Para evaluar la diversidad en los tratamientos de estudio se utilizaron índices de dominancia (Simpson) y de uniformidad (Shannon-Wiener). El índice de Simpson muestra que el tratamiento de composta/poda fue el que presentó una mayor dominancia de morfotipos con respecto a los tratamientos glifosato/triple16, deshierbe, triple16/ deshierbe, humus/poda, poda y glifosato. En relación a la uniformidad entre los tratamientos de estudio, el índice de Shannon muestra una mayor uniformidad en el tratamiento con glifosato, seguido del tratamiento de triple 16/deshierbe, poda, humus/poda, glifosato/triple16, deshierbe y composta/poda (cuadro 15).

**Cuadro 15.** Índices de dominancia y uniformidad de los tratamientos de estudio. T1: glifosato, T2: glifosato/triple 16, T3: triple16/deshierbe, T4: humus/poda, T5: poda, T6: composta/poda y T7: deshierbe.

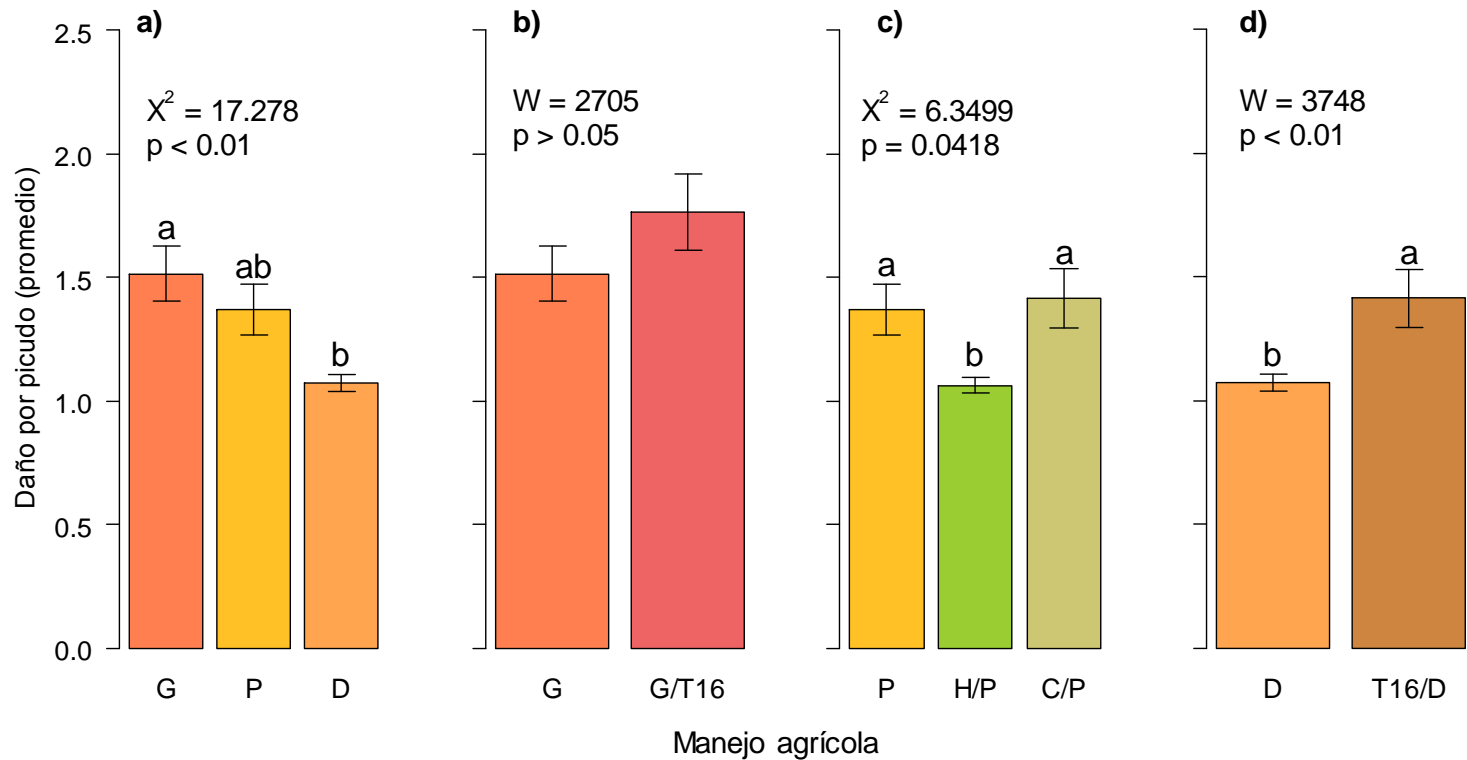
Índices de diversidad	Tratamientos						
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Riqueza	20	15	23	19	24	21	23
Simpson	0.8954	0.7095	0.8499	0.8562	0.8756	0.532	0.7244
Shannon	2.509	1.868	2.429	2.37	2.411	1.394	1.788

#### **11.4 Daño causado por picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus*) en las plantas de *Agave cupreata***

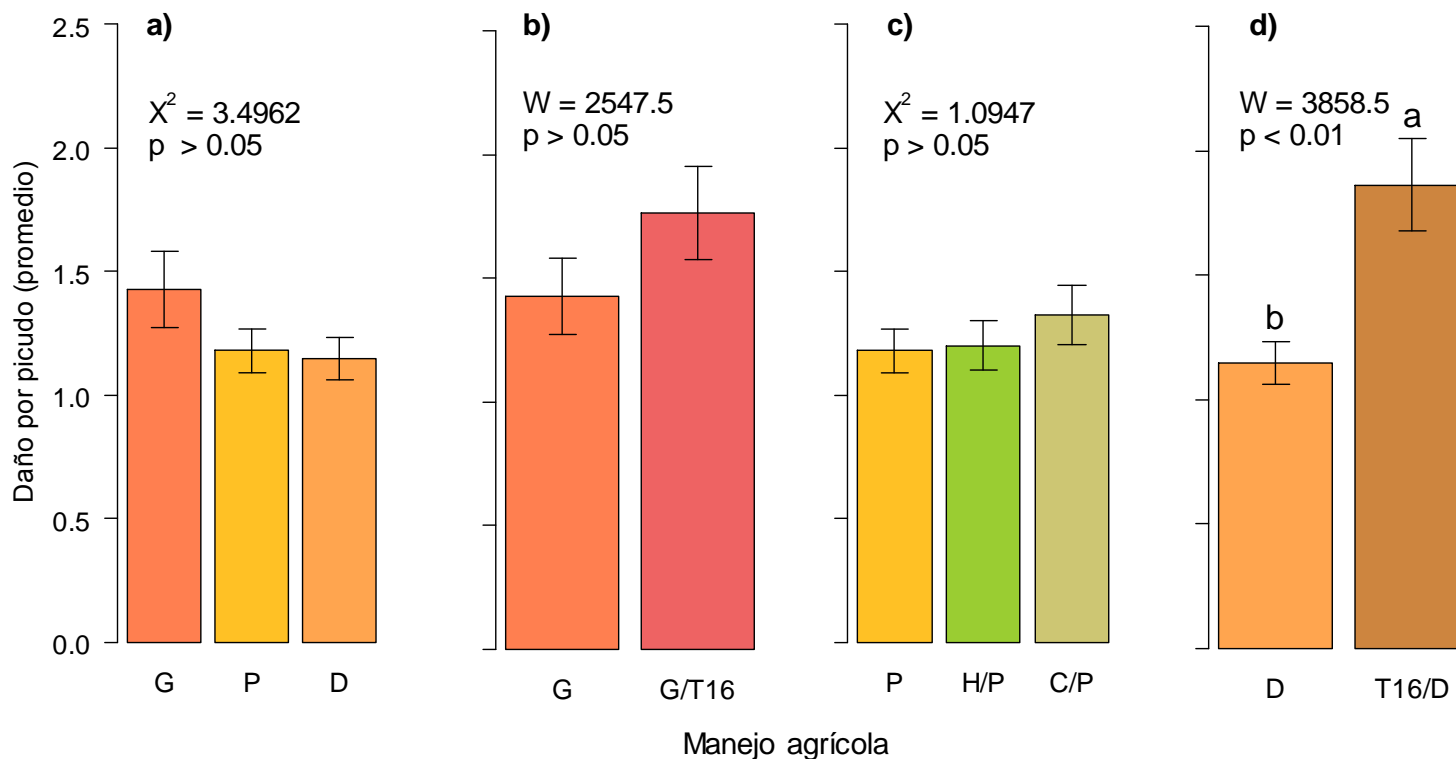
En relación al daño causado por el picudo negro en las plantas de *Agave cupreata*, fue considerado el daño manifestado desde su plantación, para lo cual se realizaron dos evaluaciones, la primera de ellas efectuada en el mes de noviembre de 2021 y la segunda durante el mes de abril de 2022. En todos los tratamientos se presentaron afectaciones por picudo, que variaron en función al nivel de daño causado a la planta (cuadro 16).

En el caso de los tratamientos del manejo de la vegetación, durante noviembre 2021, los análisis estadísticos mostraron una alta significancia (Kruskal-

Wallis,  $X^2 = 17.278$ ,  $p < 0.01$ ), siendo el tratamiento glifosato el que presentó un mayor daño por picudo en relación al tratamiento de deshierbe, mientras que el tratamiento de poda no difirió de los primeros dos (Fig. 25a). Para abril 2022, no se encontraron diferencias entre estos tratamientos (Kruskal-Wallis,  $X^2 = 3.4962$ ,  $p > 0.05$ , Fig. 26a). En relación a los tratamientos bajo un sistema de glifosato con y sin T16, en ambos periodos de estudio, no se encontró diferenciación entre los tratamientos (pruebas de Wilcoxon, noviembre 2021,  $W = 2705$ ,  $p > 0.05$ ; abril 2022,  $W = 2547.5$ ,  $p > 0.05$ ; figuras 25b y 26b). Por otra parte, en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica, el análisis mostró significancia (Kruskal-Wallis,  $X^2 = 6.3499$ ,  $p = 0.0418$ ) durante la evaluación de noviembre 2021, siendo los tratamientos de composta/poda y poda los que presentaron mayor daño por picudo en relación al tratamiento con humus (Fig. 25c). En abril 2022, no se presentaron diferencias entre los tratamientos (Kruskal-Wallis,  $X^2 = 1.0947$ ,  $p=0.5785$ , Fig. 26c). Finalmente, en el caso de los tratamientos bajo un sistema de deshierbe con y sin T16, en ambas fechas, el daño por picudo fue altamente significativo (pruebas de Wilcoxon, noviembre 2021,  $W = 3748$ ,  $p < 0.01$ ; abril 2022,  $W = 3858.5$ ,  $p < 0.01$ ) y mayor para el tratamiento con T16 (figuras 25d y 26d).



**Figura 25.** Daño promedio de picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus*) en plantas de *Agave cupreata* durante noviembre 2021. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar.



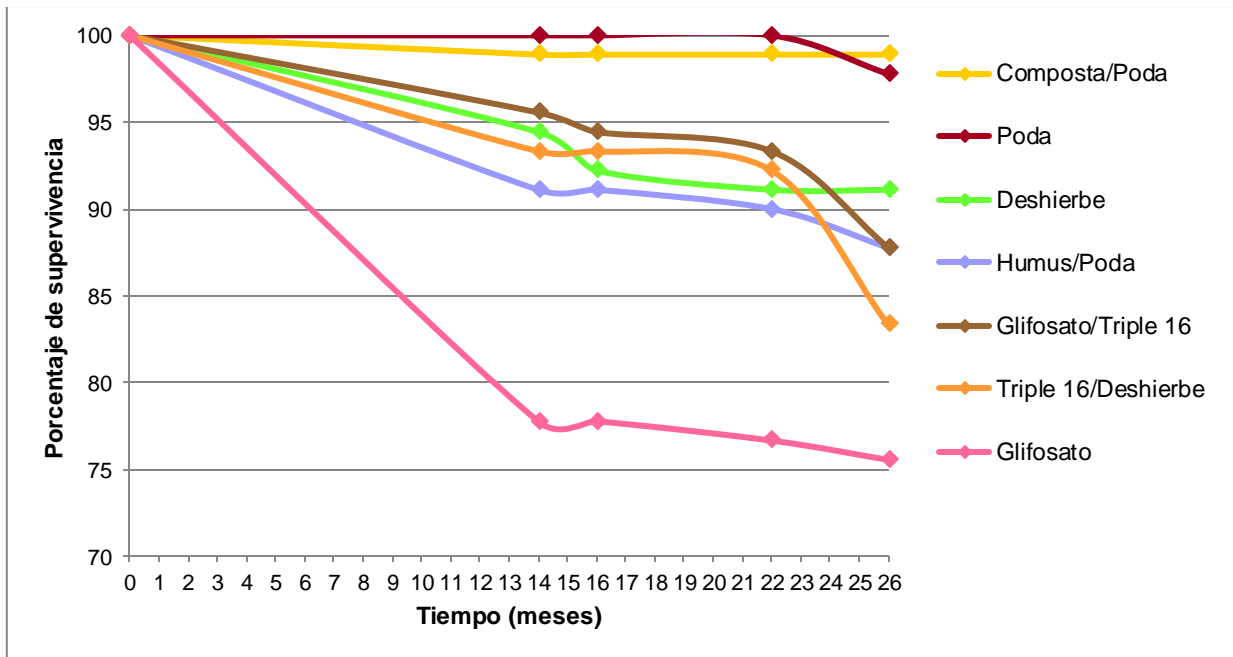
**Figura 26.** Daño promedio de picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus*) en plantas de *Agave cupreata* durante abril 2021. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), poda (P), deshierbe (D), glifosato/triple 16 (G/T16), humus/poda (H/P), composta/poda (C/P) y T16/D. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos de estudio. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16. Las barras de error muestran el error estándar.

**Cuadro 16.** Evaluación del daño por picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus*) y mortandad de plantas de *A. cupreata* en noviembre 2021. El número inicial de individuos por tratamiento fue de 90. Nivel 1: plantas sin daño. Nivel 6, daño severo. T1: glifosato, T2: glifosato/triple 16, T3: triple16/deshierbe, T4: humus/poda, T5: poda, T6: composta/poda y T7: deshierbe.

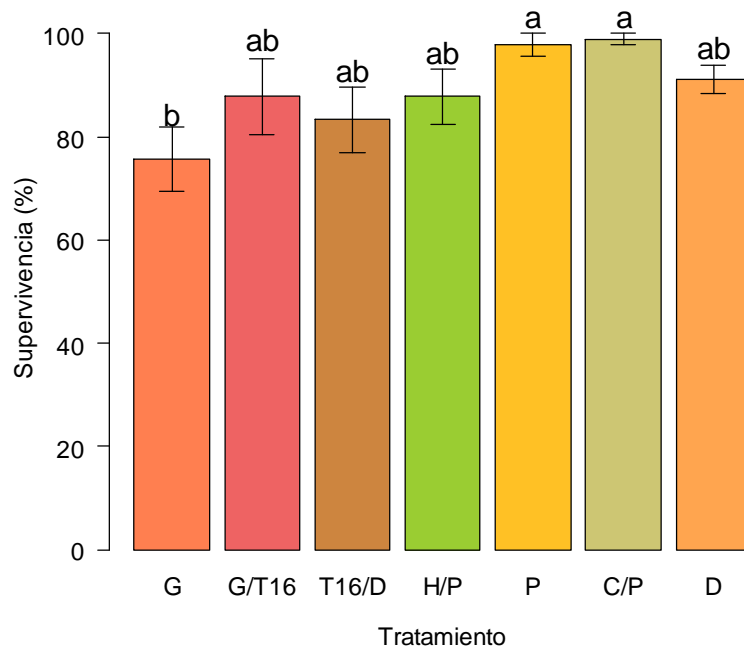
Escala del daño por picudo durante el mes de noviembre de 2021														
	T1		T2		T3		T4		T5		T6		T7	
Nivel	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)	n	(%)
1	47	52.2	57	63.3	67	74.4	78	86.6	76	84.4	75	83.3	77	85.6
2	15	16.7	5	5.6	9	10.0	3	3.3	2	2.2	3	3.3	4	4.4
3	5	5.6	11	12.2	3	3.3	1	1.1	9	10.0	7	7.8	1	1.1
4	2	2.2	3	3.3	2	2.2	0	0.0	1	1.1	0	0.0	0	0.0
5	0	0.0	2	2.2	1	1.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
6	1	1.1	7	7.8	2	2.2	0	0.0	2	2.2	4	4.4	1	1.1
Mortalidad	20	22.2	5	5.6	6	6.7	8	8.9	0	0.0	1	1.1	7	7.8

### 11.5 Supervivencia de las plantas de *Agave cupreata*

La supervivencia fue significativa ( $X^2 = 37.2$ ,  $p < 0.001$ ). Los meses 14, 16, 22 y 26 representan las evaluaciones efectuadas en agosto 2021, octubre 2021, abril 2022 y agosto 2022 respectivamente (Fig. 27). La supervivencia de las plantas en cada una de estas evaluaciones se muestra en el cuadro 18. Se encontraron diferencias estadísticas en la supervivencia de las plantas, siendo mayor en los tratamientos de composta/poda (98.89%) y poda (97.78%), y menor para el tratamiento de glifosato (75.56%). Los tratamientos de deshierbe, humus/poda, glifosato/triple 16 y triple 16/deshierbe, no difirieron entre sí de los anteriores (Fig. 28).



**Figura 27.** Supervivencia de plantas de *Agave cupreata* bajo los distintos tratamientos de estudio. El mes 0, representa al mes de junio de 2020, periodo en el que se establecieron los tratamientos. El mes 14, corresponde a agosto 2021, primera evaluación de este trabajo. El mes 16, octubre 2021; mes 22, abril 2022 y mes 26, agosto 2022.



**Figura 28.** Supervivencia de plantas de *Agave cupreata* y su diferenciación entre los tratamientos de estudio. Las letras en la base de la barra representan los nombres de los tratamientos: glifosato (G), glifosato/triple 16 (G/T16), triple 16/deshierbe (T16/D), humus/poda (H/P), poda (P), composta/poda (C/P) y deshierbe (D). Las barras de error muestran el error estándar.

**Cuadro 17.** Supervivencia de plantas de *Agave cupreata* en los distintos periodos de evaluación y tratamientos de estudio.

Tratamiento	Periodo de evaluación, número de individuos y porcentaje de sobrevivencia.										Prueba de Duncan (ago-22)
	jun-20		ago-21		oct-21		abr-22		ago-22		
T1 (Glifosato)	90	100	70	77.78	70	77.78	69	76.67	68	75.56	b
T2 (Glifosato/T16)	90	100	86	95.56	85	94.44	84	93.33	79	87.78	ab
T3 (T16/poda)	90	100	84	93.33	84	93.33	83	92.22	75	83.34	ab
T4 (Humus/poda)	90	100	82	91.11	82	91.11	82	91.11	79	87.78	ab
T5 (Poda)	90	100	90	100	90	100	90	100	88	97.78	a
T6 (Composta/poda)	90	100	89	98.89	89	98.89	89	98.89	89	98.89	a
T7 (Deshierbe)	90	100	85	94.44	83	92.22	82	91.11	82	91.11	ab

## **11.6 Relación de las propiedades fisicoquímicas del suelo y la abundancia y diversidad morfológica de HMA en los tratamientos glifosato, humus/poda y poda**

En el cuadro 18 se muestran los resultados del análisis de suelo de los tratamientos glifosato, humus/poda y poda, realizados por el laboratorio CIDAM en septiembre del año 2022, así como los datos de la abundancia de esporas en 100 g de suelo y los resultados de los índices de diversidad de estos tratamientos. El pH en agua de los tratamientos evaluados por el laboratorio CIDAM fue moderadamente alcalino (7.36 - 7.63). La conductividad eléctrica reveló que los tratamientos evaluados estuvieron libres de sales (0.08 - 0.16 mS/cm). La materia orgánica fue moderadamente alta (2.76 - 3.17%), mientras que el nitrógeno nítrico fue bajo en los tres tratamientos evaluados (2.29 - 4.20 ppm). El fósforo fue bajo para el tratamiento de poda (8.88 mg/kg), medio para el de glifosato (22.69 mg/kg) y muy alto para humus/poda (40.75 mg/kg). En todos los tratamientos analizados, el sodio fue moderadamente bajo (57.34 - 66.66 ppm), el potasio presentó niveles medios (247.40 - 299.13 ppm) al igual que el calcio (1920.42-2281.77 ppm), mientras que el magnesio fue moderadamente alto (664.52 - 797.52 ppm). La capacidad de intercambio catiónico fue de 17.74 Cmol/kg para el tratamiento con glifosato, de 15.97 Cmol/kg para humus/poda y de 19 Cmol/kg para el tratamiento de poda.

**Cuadro 18.** Resultados de los análisis de suelo de los tratamientos glifosato, humus/poda y poda, del número promedio de esporas de HMA en 100 g de suelo y de los índices de diversidad.

Tratamiento / Parámetro	Glifosato	Humus / Poda	Poda
pH agua	7.42	7.63	7.36
Conductividad eléctrica (mS/cm)	0.16	0.08	0.10
Materia orgánica (%)	2.76	2.78	3.17
Nitrógeno nítrico (ppm)	2.29	3.80	4.20
Fósforo (mg/kg)	22.69	40.75	8.88
Sodio (ppm)	57.34	64.72	66.66
Potasio (ppm)	295.76	247.40	299.13
Calcio (ppm)	2,106.38	1,920.42	2,281.77
Magnesio (ppm)	755.86	664.52	797.52
Capacidad de intercambio catiónico (Cmol/kg)	17.74	15.97	19
Número promedio de esporas en 100 g de suelo	28.66	38.16	89
Índice de Simpson	0.8954	0.8562	0.8756
Índice de Shannon	2.509	2.37	2.411

## 12. DISCUSIÓN

### 12.1 Incremento de altura y diámetro de las plantas de *Agave cupreata*

El incremento en altura en las plantas de *Agave cupreata* durante el periodo agosto 2021- agosto 2002, sometidas al tratamiento con glifosato, mostró una respuesta diferente a lo observado en un estudio en el cual, dicha sustancia retrasó el crecimiento de las plantas con respecto al tratamiento control (Martínez-Palacios *et al.*, 2015). Es notable mencionar, que nuestro experimento difiere en que el glifosato se aplicó una vez cada tres meses y que el cultivo después de la lluvia se auxilió con riego aproximadamente cada mes, de noviembre a mayo. En el caso reportado por Martínez-Palacios y cols. (2015), las aplicaciones fueron totalmente de temporal y las tres que fueron efectuadas se hicieron únicamente en la época de lluvias, de julio en adelante. Los resultados obtenidos en este trabajo pueden deberse a un fenómeno conocido como hormesis, en el cual una sustancia que, en dosis elevadas es tóxica para las plantas, en bajas dosis puede promover su crecimiento. Esto ha sido reportado para diferentes plantas, en el cual dicha dosis varía en función a la especie y al tejido evaluado (Duke *et al.*, 2006; Velini *et al.*, 2008). Sin embargo, el crecimiento sin la nula adición de nutrimentos al suelo, puede agudizar la susceptibilidad a sus depredadores (Huber y Weinmann, 2012; Spann y Schumann, 2012). Aunado a esto, la presencia de glifosato en este trabajo disminuyó significativamente la presencia de los HMA. Con respecto al incremento de diámetro, glifosato y poda tuvieron una mayor respuesta. El glifosato posiblemente registró el efecto de hormesis discutido anteriormente, mientras que en el de poda, las hierbas y sus exudados deben de estar promoviendo una mayor actividad microbiana, microorganismos con los que se asocian las raíces de las plantas y que favorecen su crecimiento y nutrición (Jakobsen y Rosendahl, 1990; Bais *et al.*, 2006; Bais *et al.*, 2008; Neri-Luna y Villarreal-Ruiz, 2012). Así mismo, las hierbas protegen al suelo contra la erosión (sin que se pierdan las primeras capas del suelo donde viven estos microorganismos), son el hogar de aves y de otros animales cuya presencia evita formación de plagas, aportan residuos orgánicos al

suelo, conservan el agua del suelo, entre otros beneficios más (Altieri, 1999b; Sarandón, 2002; Marshall *et al.*, 2003; Thrupp, 2004; Andujar, 2013).

En los 12 meses que duró el experimento (agosto 2021-agosto 2022), en los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica, el tratamiento de poda mostró una mayor respuesta en el incremento de diámetro, comportamiento similar a lo discutido anteriormente. Los tratamientos de humus/poda y composta/poda tuvieron una respuesta similar en el incremento de diámetro y es importante señalar que las enmiendas orgánicas son capaces de mejorar la absorción de nutrientes, tales como fósforo, azufre y nitrógeno; de mejorar la estructura del suelo y su capacidad para retener agua, de estimular la actividad biológica del suelo, entre otros (Waksman, 1936; Mayhew, 2004; Herrán *et al.*, 2008). Por otra parte, al comparar durante periodos de estudio, se observó que durante la temporada de riego (octubre 2021-abril 2022) y a diferencia de la temporada de lluvias (agosto 2021-octubre 2021), una mayor respuesta en el crecimiento, tanto de altura como de diámetro, en el tratamiento con humus/poda, en relación a los de poda y composta/poda. Lo que sugiere que en el campo, se podría aplicar composta durante la temporada de lluvias y humus durante la temporada seca.

En el caso de los tratamientos bajo un sistema de deshierbe con y sin triple 16, el tratamiento con triple 16 mostró un incremento significativo en la altura en relación al tratamiento donde solo de deshierba. Sin embargo, es reconocido que la aplicación de fertilizantes químicos ocasiona daños en la salud humana, el agua, en la diversidad de organismos y fertilidad del suelo y, en general, en el medio ambiente (Lovell *et al.*, 1995; Gliessman, 2002; de Bauer, 2009; Guo *et al.*, 2010; Hirel *et al.*, 2011; Blanco-Canqui y Schlegel, 2013; Coolon *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2014; Verhulst *et al.*, 2015; He *et al.*, 2016).

## **12.2. Colonización micorrízica arbuscular en raíces de plantas de *Agave cupreata***

La colonización micorrízica se ve afectada por diferentes factores, entre los que se encuentran la alteración del suelo. Esta alteración puede verse reflejada en el uso de fertilizantes y pesticidas (herbicidas, fungicidas, insecticidas, bactericidas), utilizados comúnmente en la agricultura convencional (Brundrett, 1991), que ponen en riesgo la estabilidad de los sistemas agrícolas (Barea y Jeffries, 1995; Gliessman, 2002; Cycoń *et al.*, 2006; Wolansky, 2011; de Bauer, 2009; Sarandón y Flores, 2014; Zaller *et al.*, 2014).

En este estudio, al hacer uso del herbicida glifosato, se observó que éste disminuyó la colonización micorrízica. Al respecto, existen investigaciones que reportan que este mata hierba afecta negativamente la colonización micorrízica en las raíces así como la abundancia y diversidad de esporas en el suelo (Savin *et al.*, 2009; Brindhavani *et al.*, 2018). Además, es preciso señalar que el uso excesivo de agroquímicos afecta negativamente el crecimiento, la supervivencia y en la actividad microbiana del suelo (Milošević y Govedarica, 2002; Cycoń *et al.*, 2006; Önder *et al.*, 2011; Zaller *et al.*, 2014; Meena, *et al.*, 2020). Los resultados con respecto a los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica (humus/poda, poda y composta/poda), los tratamientos bajo un sistema de glifosato con y sin T16 y los tratamientos bajo un sistema de deshierbe con y sin T16 (T16/deshierbe y deshierbe) no mostraron diferencias contundentes entre ellos.

## **12.3 Abundancia y diversidad de esporas de HMA en suelo rizosférico de *Agave cupreata***

La abundancia de esporas se vio menguada con el uso glifosato en relación a los tratamientos de poda y deshierbe. Al respecto, Zaller *et al.*, 2014 reportaron que este herbicida afecta no solo el crecimiento del micelio y la formación arbuscular, sino también la biomasa de hifas y de esporas de los HMA. Así mismo,

hay información de que el glifosato, aún en bajas dosis, afecta la viabilidad de las esporas (Druille *et al.*, 2013).

Por otra parte, en relación a los tratamientos bajo un sistema de poda con y sin fertilización orgánica, el tratamiento que tuvo una mayor abundancia de esporas promedio fue el de composta/poda mientras que, el tratamiento de humus/poda presentó la menor. Sin embargo, este último presentó altos niveles de fósforo (40.75 mg/kg). Se ha reportado que una concentración alta de sustancias húmicas (mayor de 800 mg kg<sup>-1</sup>) provoca que haya una disminución de la colonización micorrízica y de la longitud de las hifas (Vallini *et al.*, 1993), siendo esto contrario a lo encontrado en un cultivo hidropónico, en donde la colonización micorrízica se vio favorecida a una concentración aproximada de 800 mg L<sup>-1</sup> (Gryndler *et al.*, 2005). Sin embargo, es probable que esta respuesta obtenida en el tratamiento con humus pueda estar relacionada con el enriquecimiento con roca fosfórica adicionada al humus por el fabricante, lo cual explicaría los niveles altos de fósforo que se presentaron en este tratamiento. Existen estudios en donde se observa una disminución de la riqueza de especies de HMA, así como de otros hongos con la adición de fósforo (Camenzind *et al.*, 2014; Klabi *et al.*, 2015). Se ha encontrado que las adiciones de nitrógeno y fósforo afectan la riqueza de HMA. En el caso de los Diversisporales, ésta disminuye con las aplicaciones de nitrógeno, mientras que la de los Glomerales lo hace al aplicar fósforo (Camenzind *et al.*, 2014). La familia Gigasporaceae, así como en el género *Gigaspora*, muestran una correlación negativa con el fósforo disponible en el suelo (Ma *et al.*, 2018). En otro estudio, observaron que la fertilización con fósforo provocó una disminución significativa de la tasa de colonización micorrízica, de la colonización de arbuscúlos y de la densidad de longitud de las hifas (Chen *et al.*, 2014). Ahora bien, a nivel de la comunidad fúngica del suelo, se ha reportado que ésta resulta ser más sensible a la adición de fósforo que a la de nitrógeno. El aumento de fósforo desencadena una reducción significativa de la riqueza de especies de hongos, así como cambios en la estructura de su comunidad, independientemente de si se agrega nitrógeno (He *et al.*, 2016). En el caso del tratamiento de composta, que fue donde se presentó el mayor número de esporas, se ha reportado que el uso de enmiendas favorece el

rendimiento vegetal, el incremento de biomasa de los HMA (Quin *et al.*, 2015) así como el fortalecimiento de la relación entre las plantas y los HMA (Ma *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2020).

En relación a los tratamientos bajo un sistema de deshierbe con y sin T16, se encontró una menor abundancia de esporas en el tratamiento con el fertilizante inorgánico en comparación con el tratamiento en donde solo se deshierba. Esto resulta consistente con estudios que demuestran que los fertilizantes inorgánicos disminuyen el número total de esporas (Bhadalung *et al.*, 2005) y la diversidad fúngica del suelo (Ding *et al.*, 2017). Se ha visto que, bajo fertilización química, la diversidad alfa de las especies de HMA disminuye al igual que la asociación que mantienen con las plantas (Liu *et al.*, 2020).

En campos con plantas del género *Agave* que no han estado sometidas a manejo agrícola alguno, se ha encontrado en *Agave potatorum* Zucc., una diversidad de 9 morfotipos para la mixteca oaxaqueña (Hernández-Morales *et al.*, 2014) y de 20 morfotipos para los valles centrales de Oaxaca (Carballar-Hernández *et al.*, 2013). En el caso de *A. karwinski* Zucc y *A. angustifolia* Haw. (Reyes-Jaramillo *et al.*, 2019) se reportaron 48 morfotipos para ambas en el estado de Oaxaca y 32 en el norte del país para *A. angustifolia*. En regiones mezcaleras, se identificaron 39 morfotipos para *A. cupreata* (Trinidad-Cruz *et al.*, 2017), siendo resultados muy similares a los del presente estudio.

En el caso de los índices de diversidad, el tratamiento con glifosato presentó un mayor índice de Shannon, lo cual muestra que las morfoespecies estuvieron distribuidas equitativamente. Sin embargo, hubo una menor abundancia de esporas en este tratamiento, coincidiendo con lo reportado en otros estudios (Druille *et al.*, 2013; Zaller *et al.*, 2014). Por otra parte, en el tratamiento de composta/poda se presentó una morfoespecie dominante que destacó ampliamente de las demás, lo cual explica el valor del índice de Simpson. En general, este morfotipo fue dominante en los tratamientos bajo estudio. En un trabajo similar, con manejo de hierbas y fertilizantes orgánicos e inorgánicos, se encontró que el género *Rhizophagus* C. Walker & A. Schüßler, aumenta significativamente su abundancia,

independientemente de si se aplica fertilizante inorgánico o estiércol (Ma *et al.*, 2018). Por otra parte, la mayor riqueza de morfoespecies se presentó en el tratamiento de poda (sin la aplicación de fertilizantes ni herbicidas). En este sentido, en un estudio del 2004, se encuentra que hubo una mayor abundancia y diversidad de esporas de HMA en los tratamientos orgánicos y el control sin uso de fertilizantes (Oehl *et al.*, 2004).

#### **12.4 Daño causado por picudo negro (*Scyphophorus acupunctatus*) en las plantas de *Agave cupreata***

El uso de herbicidas y de fertilizantes, torna más vulnerables a las plantas al ataque por plagas y diversas enfermedades (Ghorbani *et al.*, 2009; Martínez-Palacios *et al.*, 2015). En general, los tratamientos con agroquímicos (glifosato, glifosato/triple 16, triple 16/deshierbe), manifestaron mayor daño, siendo consistente con la literatura. Ciertamente, en todos los tratamientos se encuentra algún daño por picudo, lo anterior puede deberse al origen de semilla de las plantas, donde no solo la presencia de agroquímicos las hace susceptible a plagas y enfermedades, si no también, la presencia de genotipos más susceptibles a los patógenos, lo cual se manifiesta en afectaciones a las plantas (Calsson-Granér, 1997). De igual forma, las plantas están interactuando ecológicamente con su medio biótico, y de esta forma, reciben beneficios no solo de nutrición, sino de protección en contra de sus depredadores foliares y de la raíz, aumentan su tolerancia a la sequía, a la salinidad y a las concentraciones de metales pesados (Colozzi-Filho y Cardoso, 2000; Requena *et al.*, 2007; Smith y Read, 2008; Hodge *et al.*, 2010; Jacott *et al.*, 2017). En la agricultura convencional, los problemas de plagas y enfermedades se han resuelto con pesticidas, sin embargo, se completa el círculo vicioso, de caer nuevamente en un sistema que contamina al ambiente y al ser humano (Gliessman, 2002; Raya, 2002; de Bauer, 2009; Bedmar, 2011; Wolansky, 2011).

## **12.5 Supervivencia de las plantas de *Agave cupreata***

Como se ha discutido con anterioridad, la adición de agroquímicos hace susceptibles a las plantas a las plagas y enfermedades (Ceccon, 2008; Ghorbani *et al.*, 2009; Martínez-Palacios *et al.*, 2015). Lo anterior es consistente con la supervivencia de individuos observada en el tratamiento de glifosato, éste presenta una menor supervivencia significativa y con ello una mayor mortalidad de plantas. De igual forma, el estrés, tanto abiótico como biótico, es un factor clave que influye en la supervivencia de los individuos, que se ven sometidos a niveles inadecuados de temperatura, radiación, de agua y de nutrientes en el suelo; herbivoría, afectaciones por bacterias, virus y otros organismos que los tornan más vulnerables (Mendoza, 2002; Ruiz, 2008; Moreno, 2009; Robert *et al.*, 2012; Geem *et al.*, 2013).

## **12.6 Relación de las propiedades fisicoquímicas del suelo y la abundancia y diversidad morfofototípica de HMA en los tratamientos glifosato, humus/poda y poda**

El pH es una propiedad de las más importantes para los suelos, ya que la disponibilidad de los nutrientes para las plantas depende de ella (FitzPatrick, 1984; Ramírez Carvajal, 1997; FAO, 2021c). El pH caracteriza el ambiente químico del suelo (Hazleton y Murphy, 2007), determina la solubilidad de los nutrientes, así como la actividad de los microorganismos, los cuales a su vez mineralizan la materia orgánica. De igual manera determina la concentración de iones tóxicos, la capacidad de intercambio catiónico y otras características que tienen relación con la fertilidad del suelo (Ramírez Carvajal, 1997). En este sentido, el pH obtenido en los tratamientos que fueron evaluados, fue moderadamente alcalino (7.36 - 7.63).

La conductividad eléctrica indica la cantidad de sales presentes en el suelo. Los suelos de los tratamientos evaluados estuvieron libres de sales, por lo cual, los efectos son casi insignificantes sobre el cultivo y la respuesta de los microorganismos del suelo, ya que pocos son los organismos que podrían verse afectados (Luters y Salazar, 2000).

La materia orgánica es responsable de la mayoría de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el suelo (Aguilera, 2000). Brinda estabilidad al suelo, propicia la actividad de los microorganismos siendo su sustrato principal, incrementa los contenidos de nutrientes, favorece la capacidad supresora del suelo, entre otros (Hoitink *et al.*, 1997; Farrell y Altieri, 1999; Bulluck *et al.*, 2002; Gliessman, 2002; Herrán *et al.*, 2008; Annabi *et al.*, 2011; Dollinger y Jose, 2018). En relación con lo anterior, los niveles de materia orgánica en los tres tratamientos evaluados fueron moderadamente altos (2.76 - 3.17%) por lo que se considera que el suelo presenta una condición estructural media (Hazelton y Murphy, 2007).

El nitrógeno nítrico o los nitratos, son la forma en que la mayoría de las plantas asimilan el nitrógeno (Temple *et al.*, 1998). Los niveles considerados adecuados son mayores a 30 mg/kg mientras que niveles por debajo de 8 mg/kg son vistos como deficientes (Holford y Doyle, 1992). En este sentido, los tratamientos presentaron niveles bajos de nitrógeno nítrico (2.29 - 4.20 ppm). Sin embargo, en los tratamientos sin aplicación de agroquímicos y bajo un manejo ecológico, hay que contemplar a los microorganismos de la rizosfera, particularmente de las bacterias fijadoras de nitrógeno, para saber si están aportando este elemento a las plantas. En estudios posteriores se recomienda también analizar el suelo de la rizosfera, o, en su defecto, analizar únicamente este último. Si la falta de aportaciones se relaciona con la salud de las plantas, la falta de un macro-elemento como el nitrógeno, manifestaría desnutrición y afectaciones claras por plagas y enfermedades.

El fósforo es un componente esencial que las plantas normalmente absorben como  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$   $\text{HPO}_4^{2-}$ , según sea el pH en el cultivo. Forma parte de un gran número de sustancias que están involucradas en reacciones bioquímicas tales como la fotosíntesis o la respiración (Barker y Pilbeam, 2007; Maathuis, 2009; Hawkesford *et al.*, 2012; de Bang *et al.*, 2021). Los niveles mayores a 25 mg/kg en el suelo son considerados muy altos (Hazelton y Murphy, 2007), siendo el caso del tratamiento humus/poda (40.75 mg/kg), seguido del tratamiento glifosato (22.69 mg/kg), que

presentó un valor medio y del tratamiento de poda (8.88 mg/kg), que presentó un nivel bajo.

En el suelo, los cationes más abundantes son el calcio, magnesio, potasio, sodio y el aluminio (en suelos muy ácidos) (Hazelton y Murphy, 2007). En la mayoría de los suelos, hay un poco de sodio presente. En climas templados, los niveles de sodio son iguales o inferiores a las de potasio mientras que en climas áridos o semiáridos, puede haber cantidades muy grandes de sodio debido a que la transpiración es similar o mayor a la precipitación (Barker y Pilbeam, 2007). En los tratamientos evaluados, el sodio fue moderadamente bajo (57.34 - 66.66 ppm), En el caso del potasio, cuando su suministro es inadecuado, se observan efectos perjudiciales sobre el crecimiento, vigor y resistencia de las plantas a presiones ambientales, tales como la sequía y la salinidad (de Bang *et al.*, 2021), niveles delicados oscilan entre 80-200 mg/kg (Hazelton y Murphy, 2007), los cuales no fueron observados en los tratamientos evaluados, que presentaron niveles medios de este catión en el suelo (247.40-299.13 ppm) al igual que de calcio (1920.42-2281.77 ppm). El calcio es un elemento encargado de proporcionar rigidez al sistema de pared celular y de estabilizarlo (Maathuis, 2009; de Bang *et al.*, 2021).

El magnesio es de suma importancia para las plantas, forma parte de la molécula de la clorofila, participa en la captura de fotones y transferencia de energía en el proceso de la fotosíntesis, especialmente en la fase luminosa de la misma (Maathuis, 2009; de Bang *et al.*, 2021). Funciona como un cofactor para procesos implicados en la fosforilación, desfosforilación e hidrólisis de diversos compuestos, es un estabilizador de la estructura de diferentes nucleótidos (Barker y Pilbeam, 2007) En los tratamientos analizados, sus valores fueron moderadamente altos (664.52 - 797.52 ppm).

La capacidad de intercambio catiónico expresa la capacidad que tiene el suelo para retener e intercambiar cationes. Le da un efecto de amortiguamiento al suelo frente a los cambios de pH, de nutrientes disponibles, de los niveles calcio y de cambios estructurales del suelo. Niveles bajos (6-12 Cmol/kg) indican que la resistencia ante cambios de la química del suelo provocados por su uso, es poca

(Hazelton y Murphy, 2007). En relación a los tratamientos de estudio, los niveles que presentaron fueron moderados, siendo de 15.97 Cmol/kg para humus/poda, 17.74 Cmol/kg para el tratamiento con glifosato y de 19 Cmol/kg para el tratamiento de poda.

Por otro lado, es necesario mencionar que los análisis fisicoquímicos expuestos, son el resultado de los análisis del suelo no rizosférico, interpretación idealizada en los sistemas agrícolas con uso de agroquímicos. Sin embargo, es necesario que en nuevos estudios se interprete el suelo rizosférico, ya que se ha demostrado que sus condiciones fisicoquímicas son distintas a las del resto del suelo, habiendo cambios como en el pH, el potencial redox o los contenidos de nutrientes (Kirk y Bajita, 1995; Saleque y Kirk, 1995; Young, 1995; Hinsinger, 1998; Tinker y Nye, 2000; Khalili-Rad y Mirseyed Hosseini, 2017). Además, es una zona con una amplia diversidad de organismos que se regulan entre sí, al dispersar o comer a ciertos grupos afectando así la composición de la comunidad bacteriana (Kreuzer *et al.*, 2006; Rosenberg *et al.*, 2009; De Vries y Shade, 2013). Así mismo, esta diversidad está determinada por la composición y abundancia de exudados (Bais *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2014; Feng *et al.*, 2021). Muchos de los organismos que habitan la rizosfera son benéficos para el desarrollo de las plantas (Barbour *et al.*, 1991; de Weert *et al.*, 2002; Bulgarelli *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2014). Estas interacciones ecológicas podrían favorecer el crecimiento de las plantas en una agricultura ecológica libre de agroquímicos.

### 13. CONCLUSIONES

Se comprueban diferencias significativas entre los tratamientos agrícolas convencionales y aquellos libres de agroquímicos con manejo de arvenses y fertilización orgánica (crecimiento y supervivencia de las plantas; daño por *Scyphophorus acupunctatus*; abundancia de esporas de HMA y colonización micorrízica arbuscular).

A un año de evaluación, la adición de glifosato favoreció el incremento de altura de las plantas de *Agave cupreata*, en relación a los tratamientos de poda y deshierbe. Los tratamientos con T16, glifosato/triple 16 y triple 16/deshierbe, tuvieron un mayor incremento de altura en comparación con los tratamientos glifosato y deshierbe, respectivamente. Para el mismo periodo de tiempo, el diámetro de las plantas fue mayor en los tratamientos de poda y glifosato con respecto al tratamiento de deshierbe. Al comparar el tratamiento de poda con los tratamientos humus/poda y composta/poda, el incremento de diámetro fue superior sin la aplicación de fertilizantes orgánicos.

La supervivencia de las plantas presentó su valor más bajo en el tratamiento de glifosato (76%), mientras que los tratamientos de poda y de composta/poda tuvieron los valores más altos de supervivencia entre los tratamientos de estudio.

La colonización micorrízica y la abundancia de esporas en el suelo fue menor en el tratamiento con glifosato, en relación a los tratamientos de poda y deshierbe. El tratamiento de humus/poda presentó una baja abundancia de esporas en relación al tratamiento de composta/poda. Por otra parte, en el tratamiento de deshierbe, la abundancia de esporas se vio favorecida sin la adición de T16.

El tratamiento con glifosato presentó una mayor equitatividad entre las morfoespecies de HMA presentes en él, mientras que en el tratamiento de composta/poda se presentó una mayor dominancia y en el tratamiento de poda, una mayor riqueza específica.

El daño por picudo en general fue mayor en los tratamientos agrícolas convencionales que en aquellos libres de agroquímicos con manejo de arvenses y fertilización orgánica.

La baja abundancia de esporas en el tratamiento humus/poda, puede ser atribuible a los altos niveles de fósforo que presentó este tratamiento. El fabricante enriqueció el humus con roca fosfórica.

## 14. LITERATURA CITADA

Acosta-Martinez, V., Zobeck, T. M., & Allen, V. (2004). Soil microbial, chemical and physical properties in continuous cotton and integrated crop–livestock systems. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6), 1875-1884.

Agared (2017). Panorama de aprovechamiento de los agaves en México. Versión electrónica. Consultado el 29-05-19. Disponible en: <http://www.agared.org/libro-panorama-de-los-agaves>

Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). (2011). Programa de Análise de Resíduo de Agrotóxico em Alimentos (PARA), dados da coleta e análise de alimentos de 2010.

Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). (2020). Programa de Análise de Resíduo de Agrotóxico em Alimentos (PARA), dados da coleta e análise de alimentos de 2018.

Aguilar-Ulloa, W., Arce-Acuña, P., Galiano-Murillo, F., & Torres-Cruz, T. J. (2016). Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa. *Revista Tecnología en Marcha*, 29, 5-14.

Aguilera, S. M. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121065>

Aguirre-Dugua, X., & Eguiarte, L. E. (2013). Genetic diversity, conservation and sustainable use of wild *Agave cupreata* and *Agave potatorum* extracted for mezcal production in Mexico. *Journal of Arid Environments*, 90, 36-44.

Akuja, T. E. (2011). Agrobiodiversity in Food Security and Nutrition. Consultado el 10 de noviembre de 2021. Disponible en:

[http://repository.seku.ac.ke/bitstream/handle/123456789/1384/Akuja\\_Agrobiodiversity%20in%20Food%20Security%20and%20Nutrition.pdf?sequence=1](http://repository.seku.ac.ke/bitstream/handle/123456789/1384/Akuja_Agrobiodiversity%20in%20Food%20Security%20and%20Nutrition.pdf?sequence=1)

Alarcón, A., & Cerrato, R. F. (1999). Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 179-191.

Allen, E. B., Allen, M. F., Helm, D. J., Trappe, J. M., Molina, R., & Rincon, E. (1995). Patterns and regulation of mycorrhizal plant and fungal diversity. *Plant and Soil*, 170(1), 47-62.

Altieri, M. A (1999a). Bases científicas para una agricultura sustentable. *Montevideo: Nordan Comunidad*.

Altieri, M. A. (1999b). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. In *Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes* (pp. 19-31). Elsevier.

Altieri, M. A. (1991). *Traditional farming in latin America* (No. RESEARCH).

Andujar, J. L. G. (2013). Importancia de la biodiversidad y conservación de las especies arvenses. *Vida rural*, (361), 30-32.

- Anónimo. Consejo Regulador del Mezcal. (2018). Informe de actividades.
- Anslan, S., Bahram, M., & Tedersoo, L. (2016). Temporal changes in fungal communities associated with guts and appendages of Collembola as based on culturing and high-throughput sequencing. *Soil Biology and Biochemistry*, 96, 152-159.
- Arias, N. M. M., Ricalde, S. L. C., Sánchez, R. G., & Ata, A. M. (Eds.). (2008). *Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos*. Mundi Prensa.
- Avendaño-Arrazate, C. H., Iracheta-Donjuan, L., Gódinez-Aguilar, J. C., López-Gómez, P., & Barrios-Ayala, A. (2015). Caracterización morfológica de *Agave cupreata*, especie endémica de México. *Phyton* (Buenos Aires), 84(1), 148-162.
- Bais, H. P., Broeckling, C. D., & Vivanco, J. M. (2008). Root exudates modulate plant—microbe interactions in the rhizosphere. In *Secondary metabolites in soil ecology* (pp. 241-252). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006). The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 57, 233-266.
- Barbour, W. M., Hattermann, D. R., & Stacey, G. (1991). Chemotaxis of *Bradyrhizobium japonicum* to soybean exudates. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(9), 2635-2639.
- Bañuelos, J., Sangabriel Conde, W., Gavito, M. E., Trejo Aguilar, D., Camara, S., Medel Ortíz, R., & Carreon Abud, Y. (2017). Effect of different phosphorus levels on avocado inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(7), 1509-1520.
- Barea, J. M., Pozo, M. J., Azcon, R., & Azcon-Aguilar, C. (2005). Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of experimental botany*, 56(417), 1761-1778.
- Barker, A. V., & Pilbeam, D. J. (Eds.). (2007). *Handbook of plant nutrition*. CRC press.
- Barrios, E., Sileshi, G. W., Shepherd, K., & Sinclair, F. (2012). Agroforestry and soil health: linking trees, soil biota and ecosystem services. *Soil ecology and ecosystem services*, 14, 315-330.
- Bashan, Y., Holguin, G., & Ferrera-Cerrato, R. (1996). Interacciones entre plantas y microorganismos benéficos. *Terra*, 14(2), 159-192.
- Bautista-Cruz, A., De León-González, F., Carrillo-González, R., & Robles, C. (2011). Identification of soil quality indicators for maguey mezcalero (*Agave angustifolia* Haw.) plantations in Southern Mexico. *African Journal of Agricultural Research*, 6(20), 4795-4799.
- Baver, L. D., Gardner, W. H., & Gardner, W. R. (1973). Física de suelos. México. Hispano-Americana.
- Bedmar, F. (2011). Informe especial sobre plaguicidas agrícolas. Rev. Universidad Nacional de Mar del plata, (122), 10-35.
- Bertolini, V., Montañón, N. M., Chimal Sánchez, E., Varela Fregoso, L., Gómez Ruiz, J., & Martínez Vázquez, J. M. (2018). Abundancia y riqueza de hongos micorrizógenos

arbusculares en cafetales de Soconusco, Chiapas, México. *Revista de Biología Tropical*, 66(1), 91-105.

Bethlenfalvay, G. J., & Linderman, J. A. (1992). Mycorrhizae and crop productivity. USA: Horticultural Crops Research Laboratory, USDA-ARS.

Bhadalung, N. N., Suwanarit, A., Dell, B., Nopamornbodi, O., Thamchaipenet, A., & Rungchuang, J. (2005). Effects of long-term NP-fertilization on abundance and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi under a maize cropping system. *Plant and soil*, 270, 371-382.

Bhandari, G. (2014). An overview of agrochemicals and their effects on environment in Nepal. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 2(2), 66-73.

Blanco-Canqui, H., & Schlegel, A. J. (2013). Implications of inorganic fertilization of irrigated corn on soil properties: Lessons learned after 50 years. *Journal of environmental quality*, 42(3), 861-871.

Blanco, F., & Salas, E. (1997). Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 21(1), 55-67.

Blouin, M., Zuily-Fodil, Y., Pham-Thi, A. T., Laffray, D., Reversat, G., Pando, A., ... & Lavelle, P. (2005). Belowground organism activities affect plant aboveground phenotype, inducing plant tolerance to parasites. *Ecology letters*, 8(2), 202-208.

Bode, R., Melo, C., & Birnbaum, D. (1984). Mode of action of glyphosate in *Candida maltosa*. *Archives of microbiology*, 140(1), 83-85.

Boddington, C. L., & Dodd, J. C. (2000). The effect of agricultural practices on the development of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi. I. Field studies in an Indonesian ultisol. *Plant and Soil*, 218(1), 137-144.

Bolaños, T. A., Cruz, M. I., & Vega, J. R. (2007). *Scyphophorus acupunctatus* (= *interstitialis*) Gyllenhal (Coleoptera: Curculionidae). Plaga del agave mezcalero: Pérdidas y daños en Oaxaca, México. *Revista Científica UDO Agrícola*, 7(1), 175-180.

Borlaug, N. E. (1972). *Defensa del DDT y otros plaguicidas; Contra el hambre y las enfermedades del mundo* (No. B5728-R. CIMMYT.).

Brenes, L. (2003). Producción orgánica: algunas limitaciones que enfrentan los pequeños productores. Consultado el 20 de agosto de 2022 en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6720>

Brindhavani, P. M., Janaki, P., & Ejilane, J. (2018). Effect of Glyphosate on Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Soil and Growth of *Abelmoschus esculentus*. *Madras Agricultural Journal*, 105.

Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124(1-2), 3-22.

Brundrett, M. (1991). Mycorrhizas in natural ecosystems. In *Advances in ecological research* (Vol. 21, pp. 171-313). Academic Press.

- Brundrett, M., Bougher, N., Dell, B., Grove, T., & Malajczuk, N. (1996). *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture* (No. 435-2016-33680). Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research.
- Buckman, H. O., Brady, N. C., & Salord Barceló, R. (1977). *Naturaleza y propiedades de los suelos*.
- Bulgarelli, D., Schlaeppi, K., Spaepen, S., Van Themaat, E. V. L., & Schulze-Lefert, P. (2013). Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. *Annual review of plant biology*, 64, 807-838.
- Bulluck Iii, L. R., Brosius, M., Evanylo, G. K., & Ristaino, J. B. (2002). Organic and synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms. *Applied soil ecology*, 19(2), 147-160.
- Busse, M. D., Ratcliff, A. W., Shestak, C. J., & Powers, R. F. (2001). Glyphosate toxicity and the effects of long-term vegetation control on soil microbial communities. *Soil biology and biochemistry*, 33(12-13), 1777-1789.
- Camargo-Ricalde, S., Dhillon, S. S., & Jiménez-González, C. (2003). Mycorrhizal perennials of the "matorral xerófilo" and the "selva baja caducifolia" communities in the semiarid Tehuacán-Cuicatlán Valley, Mexico. *Mycorrhiza*, 13(2), 77-83.
- Camenzind, T., Hempel, S., Homeier, J., Horn, S., Velescu, A., Wilcke, W., & Rillig, M. C. (2014). Nitrogen and phosphorus additions impact arbuscular mycorrhizal abundance and molecular diversity in a tropical montane forest. *Global Change Biology*, 20(12), 3646-3659.
- Casas Castro, A., & Casas Barba, E. (1999). *Análisis de suelo-agua-planta y su aplicación en la nutrición de los cultivos hortícolas en la zona del sureste peninsular*. Caja Rural de Almería.
- Castillo, C., Sotomayor, L., Ortiz, C., Leonelli, G., Borie, F., & Rubio, R. (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on an ecological crop of chili peppers (*Capsicum annuum* L.). *Chilean J. Agric. Res*, 69(1), 79-87.
- Carballar-Hernández, S., Palma-Cruz, F. J., Hernández-Cuevas, L., & Robles, C. (2013). Arbuscular mycorrhizal potential and mycorrhizal fungi diversity associated with *Agave potatorum* Zucc. in Oaxaca, Mexico. *Ecological research*, 28(2), 217-226.
- Carlón-Allende, T., & Mendoza, M. E. (2007). Análisis hidrometeorológico de las estaciones de la cuenca del lago de Cuitzeo. *Investigaciones geográficas*, (63), 56-76.
- Carlsson-Granér, U. (1997). Anther-smut disease in *Silene dioica*: variation in susceptibility among genotypes and populations, and patterns of disease within populations. *Evolution*, 51(5), 1416-1426.
- Carvalho, F. P. (2017). Pesticides, environment, and food safety. *Food and energy security*, 6(2), 48-60.
- Castro-Valera, R. (2003). Incidencia y Distribución de Marchitez y Pudrición del Cogollo del Agave (*Agave tequilana* Weber variedad azul) en la zona sur de Jalisco. Tesis de Doctorado Universidad de Guadalajara. Consultado el 4 de marzo de 2023 en: [http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4810/Castro\\_Vale\\_ra\\_Roberto\\_Antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4810/Castro_Vale_ra_Roberto_Antonio.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Ceccon, E. (2008). La revolución verde: tragedia en dos actos. *Ciencias*, 91(091).
- Cen-Cen, E. R., Gómez-Merino, F., & Martínez-Hernández, A. (2015). Tolerancia de *Agave tequilana* a altas concentraciones de cationes metálicos divalentes. *Polibotánica*, (40), 163-182.
- Chen, Y. L., Zhang, X., Ye, J. S., Han, H. Y., Wan, S. Q., & Chen, B. D. (2014). Six-year fertilization modifies the biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a temperate steppe in Inner Mongolia. *Soil Biology and Biochemistry*, 69, 371-381.
- Chen, Y. Y., Hu, C. Y., & Xiao, J. X. (2014a). Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on the growth, zinc distribution and photosynthesis of two citrus cultivars grown in low-zinc soil. *Trees*, 28(5), 1427-1436.
- Chimal-Sánchez, E., Reyes Jaramillo, I., Salmerón-Castro, J. Y., Vázquez-Pérez, N., & Varela-Fregoso, L. (2018). Cuatro nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares (Glomeromycota) asociados con *Agave karwinskii* y *A. angustifolia* (Agavaceae) de Oaxaca, México. *Acta botánica mexicana*, (125).C
- Clapp, J. P., Young, J. P. W., Merryweather, J. W., & Fitter, A. H. (1995). Diversity of fungal symbionts in arbuscular mycorrhizas from a natural community. *New Phytologist*, 130(2), 259-265.
- Colozzi-Filho, A., & Cardoso, E. J. B. N. (2000). Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalária cultivada na entrelinha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(10), 2033-2042.
- Coolon, J. D., Jones, K. L., Todd, T. C., Blair, J. M., & Herman, M. A. (2013). Long-term nitrogen amendment alters the diversity and assemblage of soil bacterial communities in tallgrass prairie. *PLoS One*, 8(6), e67884.
- Cremlyn, R., & Frixione, E. B. D. (1992). *Plaguicidas modernos y su acción bioquímica*. México. Limusa.
- Cui, M., & Nobel, P. S. (1992). Nutrient status, water uptake and gas exchange for three desert succulents infected with mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 122(4), 643-649.
- Cycoń, M., Piotrowska-Seget, Z., Kaczyńska, A., & Kozdrój, J. (2006). Microbiological characteristics of a sandy loam soil exposed to tebuconazole and  $\lambda$ -cyhalothrin under laboratory conditions. *Ecotoxicology*, 15(8), 639-646.
- D'Abrosca, B., Fiorentino, A., Izzo, A., Cefarelli, G., Pascarella, M. T., Uzzo, P., & Monaco, P. (2008). Phytotoxicity evaluation of five pharmaceutical pollutants detected in surface water on germination and growth of cultivated and spontaneous plants. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 43(3), 285-294.
- de Bang, T. C., Husted, S., Laursen, K. H., Persson, D. P., & Schjoerring, J. K. (2021). The molecular-physiological functions of mineral macronutrients and their consequences for deficiency symptoms in plants. *New Phytologist*, 229(5), 2446-2469.
- de Bauer, I. (2009). Agricultura: deterioro y preservación ambiental (No. 577.273 I8A3).
- Del Rio Mora, A.A. (2015). Metodología y procedimientos para realizar inspecciones fitosanitarias en el cultivo del agave. In: Martínez-Palacios A., J. L. Morales-García y S.

Guillén Rodríguez (eds.). Aspectos sobre el manejo y la conservación de Agaves mezcaleros en Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo –Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación -Consejo Estatal de Ciencia Tecnología e Innovación. 31-40 pp.

Dhull, S., Goyal, S., Kapoor, K., & Mundra, M. (2004). Microbial biomass carbon and microbial activities of soils receiving chemical fertilizers and organic amendments. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 50(6), 641-647.

Ding, J., Jiang, X., Guan, D., Zhao, B., Ma, M., Zhou, B., ... & Li, J. (2017). Influence of inorganic fertilizer and organic manure application on fungal communities in a long-term field experiment of Chinese Mollisols. *Applied Soil Ecology*, 111, 114-122.

Dollinger, J., & Jose, S. (2018). Agroforestry for soil health. *Agroforestry Systems*, 92(2), 213-219.

dos Santos, J. B., Ferreira, E. A., Kasuya, M. C. M., da Silva, A. A., & de Oliveira Procópio, S. (2005). Tolerance of Bradyrhizobium strains to glyphosate formulations. *Crop Protection*, 24(6), 543-547.

Douds Jr, D. D., & Millner, P. D. (1999). Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agriculture, ecosystems & environment*, 74(1-3), 77-93.

Druille, M., Omacini, M., Golluscio, R. A., & Cabello, M. N. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi are directly and indirectly affected by glyphosate application. *Applied Soil Ecology*, 72, 143-149.

Duke, S. O., Cedergreen, N., Velini, E. D., & Belz, R. G. (2006). Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy?. *Outlooks on Pest Management*, 17(1), 29-33.

Entry, J. A., Rygiewicz, P. T., Watrud, L. S., & Donnelly, P. K. (2002). Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas. *Advances in Environmental Research*, 7(1), 123-138.

FAO. (2021<sup>a</sup>). Agroforestería. Consultado el 20 de noviembre de 2021 en <https://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules-alternative/agroforestry/basic-knowledge/es/>

FAO. (2006). Building on Gender, Agrobiodiversity and Local Knowledge. Consultado el 10 de diciembre de 2021 en: <https://www.fao.org/3/y5956e/Y5956E00.htm>

FAO. (2021<sup>b</sup>) Propiedades químicas. Consultado el 20 de noviembre de 2021 en <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

Farrell, J. G., & Altieri, M. A. (1999). Sistemas agroforestales. *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Nordan-Comunidad, Montevideo, Uruguay.

Feibert, E. B., Shock, C. C., & Saunders, L. D. (2003). Nonconventional additives leave onion yield and quality unchanged. *HortScience*, 38(3), 381-386.

Fernandes, M. C., Cox, L., Hermosín, M. C., & Cornejo, J. (2006). Organic amendments affecting sorption, leaching and dissipation of fungicides in soils. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 62(12), 1207-1215.

- Feng, H., Fu, R., Hou, X., Lv, Y., Zhang, N., Liu, Y., ... & Zhang, R. (2021). Chemotaxis of beneficial rhizobacteria to root exudates: The first step towards root–microbe rhizosphere interactions. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13), 6655.
- Ferrano, D. O., & Rositano, F. (2011). Conocimiento e insumos en la agricultura moderna. *Ciencia hoy*, 21(122), 17-22.
- Finlay, R., & Söderström, B. (1992). Mycorrhiza and carbon flow to the soil. *Mycorrhizal functioning*. Chapman & Hall, New York, 134-160.
- FitzPatrick, E. A. (1984). *Suelos: su formación, clasificación y distribución* (No. 968-26-0439-7. FT 02-C11.). México: Cecsa.
- Fregoso-Zamorano, B. E., Mancilla-Villa, O. R., Guevara-Gutiérrez, R. D., Moreno-Hernández, A., Figueroa-Bautista, P., Can-Chulim, Á., ... & Villalvazo-López, V. M. (2023). Caracterización edafológica con cultivo de agave azul (*Agave tequilana* Weber) en Tonaya y Tuxcacuesco, Jalisco, México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 41.
- Gadkar, V., David-Schwartz, R., Kunik, T., & Kapulnik, Y. (2001). Arbuscular mycorrhizal fungal colonization. Factors involved in host recognition. *Plant physiology*, 127(4), 1493-1499.
- Gajic, B., Dugalic, G., & Djurovic, N. (2006). Comparison of soil organic matter content, aggregate composition and water stability of gleyic fluvisol from adjacent forest and cultivated areas. *Agronomy Research*, 4(2), 499-508.
- Gan, J., Yates, S. R., Crowley, D., & Becker, J. O. (1998). *Acceleration of 1, 3-dichloropropene degradation by organic amendments and potential application for emissions reduction* (Vol. 27, No. 2, pp. 408-414). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America.
- García-Martínez, L. I., Sánchez-Mendoza, S., & Bautista-Cruz, A. (2020). Combinación de hongos micorrízicos y fertilización fosforada en el crecimiento de dos agaves silvestres. *Terra Latinoamericana*, 38(4), 771-780.
- García-Mendoza, A. J. (2007). Los agaves de México. *Ciencias*, (87), 14-23.
- García-Meneses, P. M. (2004). Reproducción y germinación de *Agave cupreata* Trel. & Berger (Agaveceae) en la localidad de Ayahualco, Guerrero. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México. 75 p.
- García-Sánchez, R. A. (2008). Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a diferentes plantas y matorrales del Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos*, 123-136.
- Geem, M. V., Gols, R., Dam, N. M. V., der Putten, W. H. V., Fortuna, T., & Harvey, J. A. (2013). The importance of aboveground–belowground interactions on the evolution and maintenance of variation in plant defense traits. *Frontiers in Plant Science*, 4, 431.
- Gentry, H. S. (1982.) *Agaves of Continental North America*. Tucson, AZ: The University of Arizona Press.

- Gerdemann, J. W., & Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological society*, 46(2), 235-244.
- Ghorbani, R., Wilcockson, S., Koocheki, A., & Leifert, C. (2009). Soil management for sustainable crop disease control: a review. *Organic farming, pest control and remediation of soil pollutants*, 177-201.
- Giovannetti, M., Sbrana, C. (1998). Meeting a non-host: the behaviour of AM fungi. *Mycorrhiza* 8, 123– 130.
- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Catie.
- Gliessman, S. R., Rosado-May, F. J., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Méndez, V. E., ... & Jaffe, R. (2007). Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad. *Ecosistemas*, 16(1).
- Gobeille, A., Yavitt, J., Stalcup, P., & Valenzuela, A. (2006). Effects of soil management practices on soil fertility measurements on *Agave tequilana* plantations in Western Central Mexico. *Soil and Tillage research*, 87(1), 80-88.
- Govaerts, B., Sayre, K. D., & Deckers, J. (2006). A minimum data set for soil quality assessment of wheat and maize cropping in the highlands of Mexico. *Soil and tillage research*, 87(2), 163-174.
- Gryndler, M., Hršelová, H., Sudová, R., Gryndlerová, H., Řezáčová, V., & Merhautová, V. (2005). Hyphal growth and mycorrhiza formation by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus claroideum* BEG 23 is stimulated by humic substances. *Mycorrhiza*, 15(7), 483-488.
- Gulser, F., Sonmez, F., & Boysan, S. (2010). Effects of calcium nitrate and humic acid on pepper seedling growth under saline condition. *Journal of Environmental Biology*, 31(5), 873.
- Guo, J. H., Liu, X. J., Zhang, Y., Shen, J. L., Han, W. X., Zhang, W. F., ... & Zhang, F. S. (2010). Significant acidification in major Chinese croplands. *science*, 327(5968), 1008-1010.
- Gupta, A., Aggarwal, A., Mangla, C., Kumar, A., & Tanwar, A. (2011). Effect of herbicides Fenoxaprop-P-ethyl and 2, 4-D Ethyl-ester on soil mycoflora including VAM fungi in wheat crop. *Indian J. Weed Sci*, 43(1), 32-40.
- Hammer, Ø., Harper, D. A., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, 4(1), 9.
- Harinikumar, K. M., & Bagyaraj, D. J. (1994). Potential of earthworms, ants, millipedes, and termites for dissemination of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 18(2), 115-118.
- Hart, R. D. (1985). *Conceptos básicos sobre agroecosistemas* (No. 1). Bib. Orton IICA/CATIE.
- Hartz, T. K., & Bottoms, T. G. (2010). Humic substances generally ineffective in improving vegetable crop nutrient uptake or productivity. *HortScience*, 45(6), 906-910.

Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I. S., & White, P. (2012). Functions of macronutrients. In *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (pp. 135-189). Academic Press.

Hayes, T. B., Hansen, M., Kapuscinski, A. R., Locke, K. A., & Barnosky, A. (2017). From silent spring to silent night: agrochemicals and the anthropocene. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 5.

Hazelton, P., & Murphy, B. (2007). *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?*. CSIRO publishing.

He, D., Xiang, X., He, J. S., Wang, C., Cao, G., Adams, J., & Chu, H. (2016). Composition of the soil fungal community is more sensitive to phosphorus than nitrogen addition in the alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Biology and Fertility of Soils*, 52(8), 1059-1072.

Helander, M., Saloniemi, I., & Saikkonen, K. (2012). Glyphosate in northern ecosystems. *Trends in plant science*, 17(10), 569-574.

Hernández, A., Plana, R., Martín, G. M., & Santander, J. L. (2002). Estudio de algunos géneros microbianos asociados a diferentes variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) en suelo Ferralítico Rojo. *Cultivos Tropicales*, 23(2), 15-20.

Hernández-Cuevas, L., Santiago-Martínez, G., & Cuatlal-Cuahutencos, P. (2011). Propagación y micorrización de plantas nativas con potencial para restauración de suelos. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(7), 87-96.

Hernández-Morales, J. L., López-Sánchez, C., & de Jesús Palma-Cruz, F. (2014). Caracterización morfológica de micorriza arbuscular asociada a *Agave potatorum* Zucc. Con potencial de uso agronómico [morphological characterization of arbuscular mycorrhizal associated to *Agave potatorum* Zucc. with agronomic potential]. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 1(2): 82-93.

Hernández-Rodríguez, A., Heydrich-Pérez, M., Velázquez-del Valle, M. G., & Hernández-Lauzardo, A. N. (2006). Perspectivas del empleo de rizobacterias como agentes de control biológico en cultivos de importancia económica. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 24(1), 42-49.

Herrán, J. A. F., Torres, R. R. S., Martínez, G. E. R., Ruiz, R. M., & Portugal, V. O. (2008). Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 4(1), 57-68.

Herrera-Pérez, L., Valtierra-Pacheco, E., Ocampo-Fletes, I., Tornero-Campante, M. A., Hernández-Plascencia, J. A., & Rodríguez-Macías, R. (2017). Prácticas agroecológicas en *Agave tequilana* Weber bajo dos sistemas de cultivo en Tequila, Jalisco. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(SPE18), 3711-3724.

Herrmann, K. M., & Weaver, L. M. (1999). The shikimate pathway. *Annual review of plant biology*, 50, 473.

Hinsinger, P. (1998). How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. *Advances in agronomy*, 64, 225-266.

Hirel, B., Tétu, T., Lea, P. J., & Dubois, F. (2011). Improving nitrogen use efficiency in crops for sustainable agriculture. *Sustainability*, 3(9), 1452-1485..

Hodge, A., Helgason, T., & Fitter, A. H. (2010). Nutritional ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. *Fungal Ecology*, 3(4), 267-273.

Hoitink, H. A. J., Stone, A. G., & Han, D. Y. (1997). Supresión de enfermedades de plantas mediante compost. *Agronomía Costarricense (Costa Rica)*.

Holford, I. C. R., & Doyle, A. D. (1992). Yield responses and nitrogen fertilizer requirements of wheat in relation to soil nitrate levels at various depths. *Soil Research*, 30(5), 683-694.

Honrubia, M. (2009). Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. In *Anales del jardín botánico de Madrid* (Vol. 66, No. 1, pp. 133-144). Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Hubbell, D.F. (2011). Insectos de las plantas y control de enfermedades. En D.F. Hubbell (Ed.), *Agricultura tropical* (pp. 26-40) Editorial Trillas.

Huber, D., Römheld, V., & Weinmann, M. (2012). Relationship between nutrition, plant diseases and pests. In *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (pp. 283-298). Academic Press.

Iglesias-Jiménez, E., Poveda, E., Sánchez-Martín, M. J., & Sánchez-Camazano, M. (1997). Effect of the nature of exogenous organic matter on pesticide sorption by the soil. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 33(2), 117-124.

Illsley, C., Vega, E., Pisanty, I., Tlacotempa, A., García, P., Morales, P., & Calzada, M. (2007). Maguey papalote: hacia el manejo campesino sustentable de un recurso colectivo en el trópico seco de Guerrero, México. En *lo Ancestral hay Futuro: del Tequila, los Mezcales y otros Agaves*, 319-338.

Jacott, C. N., Murray, J. D., & Ridout, C. J. (2017). Trade-offs in arbuscular mycorrhizal symbiosis: disease resistance, growth responses and perspectives for crop breeding. *Agronomy*, 7(4), 75.

Jackson, L. E., Pascual, U., & Hodgkin, T. (2007). Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. *Agriculture, ecosystems & environment*, 121(3), 196-210.

Jakobsen, I., & Rosendahl, L. (1990). Carbon flow into soil and external hyphae from roots of mycorrhizal cucumber plants. *New Phytologist*, 115(1), 77-83.

Jansa, J., Mozafar, A., Banke, S., McDonald, B. A., & Frossard, E. (2002). Intra-and intersporal diversity of ITS rDNA sequences in *Glomus* intraradices assessed by cloning and sequencing, and by SSCP analysis. *Mycological Research*, 106(6), 670-681.

Jeschke, P. (2016). Propesticides and their use as agrochemicals. *Pest Management Science*, 72(2), 210-225.

Johnson, D., Leake, J. R., & Read, D. J. (2002). Transfer of recent photosynthate into mycorrhizal mycelium of an upland grassland: short-term respiratory losses and accumulation of <sup>14</sup>C. *Soil Biology and Biochemistry*, 34(10), 1521-1524.

- Jose, S. (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry systems*, 76(1), 1-10.
- Jumpponen, A. (2001). Dark septate endophytes—are they mycorrhizal?. *Mycorrhiza*, 11(4), 207-211.
- Jumpponen, A. R. I., & Trappe, J. M. (1998). Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root-colonizing fungi. *New Phytologist*, 140(2), 295-310.
- Kahane, R., Hodgkin, T., Jaenicke, H., Hoogendoorn, C., Hermann, M., Hughes, J. D. A., ... & Looney, N. (2013). Agrobiodiversity for food security, health and income. *Agronomy for sustainable development*, 33(4), 671-693.
- Khalili-Rad, R., & Mirseyed Hosseini, H. (2017). Assessing the effect of phosphorus fertilizer levels on soil phosphorus fractionation in rhizosphere and non-rhizosphere soils of wheat. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(16), 1931-1942.
- Kirk, G. J. D., & Bajita, J. B. (1995). Root-induced iron oxidation, pH changes and zinc solubilization in the rhizosphere of lowland rice. *New Phytologist*, 131(1), 129-137.
- Klabi, R., Bell, T. H., Hamel, C., Iwaasa, A., Schellenberg, M., Raies, A., & St-Arnaud, M. (2015). Plant assemblage composition and soil P concentration differentially affect communities of AM and total fungi in a semi-arid grassland. *FEMS Microbiology Ecology*, 91(1), 1-13.
- Klironomos, J. N. (2003). Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecology*, 84(9), 2292-2301.
- Kremer, R. J., & Means, N. E. (2009). Glyphosate and glyphosate-resistant crop interactions with rhizosphere microorganisms. *European Journal of Agronomy*, 31(3), 153-161.
- Kreuzer, K., Adamczyk, J., Iijima, M., Wagner, M., Scheu, S., & Bonkowski, M. (2006). Grazing of a common species of soil protozoa (*Acanthamoeba castellanii*) affects rhizosphere bacterial community composition and root architecture of rice (*Oryza sativa* L.). *Soil Biology and Biochemistry*, 38(7), 1665-1672.
- Kuyah, S., Whitney, C. W., Jonsson, M., Sileshi, G. W., Öborn, I., Muthuri, C. W., & Luedeling, E. (2019). Agroforestry delivers a win-win solution for ecosystem services in sub-Saharan Africa. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(5), 1-18.
- Lastra, S., & Ojanguren, T. (2008). Prevención primaria, diagnóstico precoz y tratamiento oportuno de la intoxicación aguda por agroquímicos en el primer nivel de atención. Guía de práctica clínica GPC: evidencias y recomendaciones.
- Lee, K. K., Reddy, M. V., Wani, S. P., & Trimurtulu, N. (1996). Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in earthworm casts and surrounding soil in relation to soil management of a semi-arid tropical Alfisol. *Applied Soil Ecology*, 3(2), 177-181.
- Li, J. H., Yang, Y. J., Li, B. W., Li, W. J., Wang, G., & Knops, J. M. (2014). Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on soil carbon fractions in alpine meadows on the Qinghai-Tibetan Plateau. *PloS one*, 9(7), e103266.
- Lingua, G., Bona, E., Manassero, P., Marsano, F., Todeschini, V., Cantamessa, S., ... & Berta, G. (2013). Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting pseudomonads

increases anthocyanin concentration in strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* var. Selva) in conditions of reduced fertilization. *International journal of molecular sciences*, 14(8), 16207-16225.

Liu, J., Zhang, J., Li, D., Xu, C., & Xiang, X. (2020). Differential responses of arbuscular mycorrhizal fungal communities to mineral and organic fertilization. *MicrobiologyOpen*, 9(1), e00920.

Liu, X., Herbert, S. J., Hashemi, A. M., Zhang, X. F., & Ding, G. (2006). Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation-a review. *Plant Soil and Environment*, 52(12), 531.

Lovell, R. D., Jarvis, S. C., & Bardgett, R. D. (1995). Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes. *Soil Biology and Biochemistry*, 27(7), 969-975.

Lovera, M., & Cuenca, G. (2007). Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de la gran sabana, Venezuela. *Interciencia*, 32(2), 108-114.

Luters, A., & Salazar, J. C. USDA. (2000). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. *Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, Departamento de Agricultura, Servicio de Investigación Agrícola, Servicio de Conservación de Recursos Naturales e Instituto de Calidad de Suelos*, 59-66.  
<https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>

Ma, M., Ongena, M., Wang, Q., Guan, D., Cao, F., Jiang, X., & Li, J. (2018). Chronic fertilization of 37 years alters the phylogenetic structure of soil arbuscular mycorrhizal fungi in Chinese Mollisols. *Amb Express*, 8(1), 1-10.

Maathuis, F. J. (2009). Physiological functions of mineral macronutrients. *Current opinion in plant biology*, 12(3), 250-258.

Mäder, P., Edenhofer, S., Boller, T., Wiemken, A., & Niggli, U. (2000). Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biology and fertility of Soils*, 31(2), 150-156.

Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., & Niggli, U. (2002). Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296(5573), 1694-1697.

Madrigal-Sánchez, X., & Zavala-Álvarez, C. (2015). Vegetación y flora de las plantaciones de magueyes mezcaleros en Etúcuaro y Tzitzio, Michoacán. In: Martínez-Palacios A., J.L. Morales-García y S. Guillén Rodríguez (eds). Aspectos sobre el manejo y la conservación de Agaves mezcaleros en Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo –Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación -Consejo Estatal de Ciencia Tecnología e Innovación. 43-59 pp.

Mandyam, K., & Jumpponen, A. (2005). Seeking the elusive function of the root-colonising dark septate endophytic fungi. *STUDIES IN MYCOLOGY*, 53, 173-189.

- Martin, D. A., Osen, K., Grass, I., Hölscher, D., Tschardt, T., Wurz, A., & Kreft, H. (2020). Land-use history determines ecosystem services and conservation value in tropical agroforestry. *Conservation Letters*, 13(5), e12740.
- Martínez-Castro, L. E., Martínez-Palacios, A., Sánchez-Vargas, N. M., Lobitte, P., Nápoles-Alvarez, C. R., Martínez-Palacios, O., ... & Golubov, J. (2015). Poblaciones silvestres de maguey chino (*Agave cupreata*) en el Estado de Michoacán. *Aspectos sobre el manejo y la conservación de Agaves Mezcaleros en Michoacán, Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación de Michoacán, Morelia, Michoacán, México*, 167-175.
- Martínez-Ghersa, M. A. (2011). Consecuencias ambientales del uso de pesticidas. *Ciencia hoy*, 21(122), 30-35.
- Martínez-Palacios, A., Gómez-Sierra, J. M., Sáenz-Romero, C., Pérez-Nasser, N., & Sánchez-Vargas, N. (2011). Genetic diversity of *Agave cupreata* Trel. & Berger. considerations for its conservation. *Revista fitotecnia mexicana*, 34(3), 159-165.
- Martínez-Palacios, A., Castro, L. E. M., Alvarez, C. R. N., Vargas, N. M. S., Cervantes, L. A., Rodríguez, S. G., & Lobit, P. (2015). Monocultivo y sistemas agresivos de manejo asociados a plagas y enfermedades en plantaciones de *Agave cupreata* en Michoacán. In: Martínez-Palacios A., J. L. Morales-García y S. Guillén Rodríguez (eds.). Aspectos sobre el manejo y la conservación de Agaves mezcaleros en Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo –Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación -Consejo Estatal de Ciencia Tecnología e Innovación. 63-82 pp.83, 101.
- Martínez-Palacios, A., Chávez Mendoza, S. A., Reyes González, R., Aguilar, A., Lobit, P. & Prat, C. (2015b). Orientación a la luz de la plantación de *Agave cupreata* Trel. y Berger, bajo manejo integral, Tzitzio, Mich. In: Martínez-Palacios A., J. L. Morales-García y S. Guillén Rodríguez (eds.). Aspectos sobre el manejo y la conservación de Agaves mezcaleros en Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo –Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación -Consejo Estatal de Ciencia Tecnología e Innovación. 63-82 pp.
- Martínez-Trinidad, S., Cotler, H., Etchevers-Barra, J. D., Ordaz-Chaparro, V. M., & León-González, F. D. (2008). Efecto del manejo en la agregación del suelo en un ecosistema tropical seco. *Terra Latinoamericana*, 26(4), 299-307.
- Marshall, E. J. P., Brown, V. K., Boatman, N. D., Lutman, P. J. W., Squire, G. R., & Ward, L. K. (2003). The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed research*, 43(2), 77-89.
- Mayhew, L. (2004). Humic substances in biological agriculture. *Rev ACRES*, 34(1-2), 80-88.
- Meena, R. S., Kumar, S., Datta, R., Lal, R., Vijayakumar, V., Brtnicky, M., ... & Marfo, T. D. (2020). Impact of agrochemicals on soil microbiota and management: a review. *Land*, 9(2), 34.
- Mendoza, A. B. (2002). *Ecofisiología y bioquímica del estrés en plantas*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

- Menéndez, A. B., Scervino, J. M., & Godeas, A. M. (2001). Arbuscular mycorrhizal populations associated with natural and cultivated vegetation on a site of Buenos Aires province, Argentina. *Biology and Fertility of Soils*, 33(5), 373-381.
- Merryweather, J. y Fitter, A. (1998). Los hongos micorrízicos arbusculares de Hyacinthoides non - scripta II. Patrones estacionales y espaciales de poblaciones de hongos. *Nuevo fitólogo*, 138 (1), 131-142.
- Milošević, N. A., & Govedarica, M. M. (2002). Effect of herbicides on microbiological properties of soil. *Zbornik Matice srpske za prirodne nauke*, (102), 5-21.
- Montoya-Martínez, A. C., Rincón-Enríquez, G., Lobit, P., López-Pérez, L., & Quiñones-Aguilar, E. E. (2019). Native arbuscular mycorrhizal fungi from the rhizosphere of *Agave cupreata* and their effect on *Agave tequilana* growth. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(4), 429-438.
- Morales-García, J. L., Stephany, A., Valencia, H., & Martínez-Palacios, A. (2015). Identificación y medidas de control de las principales enfermedades que afectan al *Agave cupreata* en Michoacán. In: Martínez-Palacios A., J. L. Morales-García y S. Guillén Rodríguez (eds.). Aspectos sobre el manejo y la conservación de Agaves mezcaleros en Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo –Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación -Consejo Estatal de Ciencia Tecnología e Innovación. 15-28 pp.
- Moreno, C. E. (2001). *Manual de métodos para medir la biodiversidad* (No. Sirsi) i9789688345436). Universidad Veracruzana.
- Moreno, F., (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía colombiana*, 27(2), 179-191.
- Moreno-Hernández, A., Estrella-Chulim, N., Escobedo-Garrido, S., Bustamante-González, Á., & Gerritsen, P. W. (2011). Prácticas de manejo agronómico para la sustentabilidad: características y medición en *Agave tequilana* Weber en la región Sierra de Amula, Jalisco. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(1), 159-169.
- Nair, P. K. R. (1991). State-of-the-art of agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*, 45(1-4), 5-29.
- Naranjo-Morán, J. A., Vera-Morales, M., Barcos-Arias, M. S., Oviedo-Anchundia, R. J., Sánchez-Rendón, V. E., & Pino-Acosta, A. Y. (2021). Dispersión y transporte de propágulos micorrízicos en el bosque seco tropical. *Ecosistemas*, 30(1), 2062-2062.
- National Plant Food Institute. (1975). Analítico: Manual de fertilizantes. México. Limusa.
- Navarro, J. M., & Morte, A. (2019). Mycorrhizal effectiveness in *Citrus macrophylla* at low phosphorus fertilization. *Journal of plant physiology*, 232, 301-310.
- Neri-Luna, C., & Villarreal-Ruiz, L. (2012). SIMBIOSIS MICORRÍCICA: UN ANÁLISIS DE SU RELEVANTE FUNCIÓN ECOSISTÉMICA Y EN LA PROVISIÓN DE SERVICIOS AMBIENTALES1. *Huerta M., FM, y LP Castro F.(comp.). Interacciones ecológicas. Primera edición. Universidad de Guadalajara*, 37-61.
- Newsham, K. K., Fitter, A. H., & Watkinson, A. R. (1995). Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Ecology & Evolution*, 10(10), 407-411.

- Nobel, P. S. (1989). A nutrient index quantifying productivity of agaves and cacti. *Journal of Applied Ecology*, 635-645.
- Noda, Y. (2009). Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. *Pastos y forrajes*, 32(2), 1-1. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO.
- Ochoa-Meza, A., Esqueda, M., Fernández-Valle, R., & Herrera-Peraza, R. (2009). Variación estacional de hongos micorrízicos arbusculares asociados con *Agave angustifolia* Haw. en la Sierra Sonorense, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32(3), 189-199.
- Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Mäder, P., Boller, T., & Wiemken, A. (2003). Impact of land use intensity on the species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems of Central Europe. *Applied and environmental microbiology*, 69(5), 2816-2824.
- Oehl, F., Sieverding, E., Mäder, P., Dubois, D., Ineichen, K., Boller, T., & Wiemken, A. (2004). Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia*, 138(4), 574-583.
- Önder, M., Ceyhan, E., & Kahraman, A. (2011). Effects of agricultural practices on environment. *Biol Environ Chem*, 24, 28-32.
- Olsson, P. A., Thingstrup, I., Jakobsen, I., & Bååth, E. (1999). Estimation of the biomass of arbuscular mycorrhizal fungi in a linseed field. *Soil Biology and biochemistry*, 31(13), 1879-1887.
- Pasaribu, A., Mohamad, R. B., Hashim, A., Rahman, Z. A., Omar, D., Morshed, M. M., & Selangor, D. E. (2013). Effect of herbicide on sporulation and infectivity of vesicular arbuscular mycorrhizal (*Glomus mosseae*) symbiosis with peanut plant. *J. Anim. Plant Sci*, 23(3), 1671-1678.
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British mycological Society*, 55(1), 158-161.
- Prado, G., Díaz, G., Vega y León, S., Gonzalez, M., Pérez, N., Urban, G., ... & Pinto, M. (1998). Residuos de plaguicidas organoclorados en leche pasteurizada comercializada en Ciudad de México. *Archivos de medicina veterinaria*, 30(1), 55-66.
- QGIS.org. (2023). QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>
- Qin, H., Lu, K., Strong, P. J., Xu, Q., Wu, Q., Xu, Z., ... & Wang, H. (2015). Long-term fertilizer application effects on the soil, root arbuscular mycorrhizal fungi and community composition in rotation agriculture. *Applied Soil Ecology*, 89, 35-43.
- Quilty, J. R., & Cattle, S. R. (2011). Use and understanding of organic amendments in Australian agriculture: a review. *Soil Research*, 49(1), 1-26.
- Quiñones-Aguilar, E. E., Hernández Cuevas, L. V., López Pérez, L., & Rincón Enríquez, G. (2019). Effectiveness of native arbuscular mycorrhizal fungi from agave rhizosphere as growth promoters in papaya. *Terra Latinoamericana*, 37(2), 163-174.

Rabatin, S. C., & Stinner, B. R. (1988). Indirect effects of interactions between VAM fungi and soil-inhabiting invertebrates on plant processes. *Agriculture, ecosystems & environment*, 24(1-3), 135-146.

Ramírez Carvajal, R. (1997). Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Consultado el 20 de octubre de 2021 en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>

Ramírez Pisco, R., Taboada, M. A., & Gil, R. (2006). Efectos a largo plazo de la labranza convencional y la siembra directa sobre las propiedades físicas de un Argiudol típico de la Pampa ondulada argentina. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 59(1), 3237-3256

Raun, W. R., & Johnson, G. V. (1999). Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy journal*, 91(3), 357-363.

Raya, A. J. S (2002). Mesa Redonda: Sanidad Ambiental Plaguicidas y Fitosanitarios.

Raya Montaña, Y. A., Apáez Barrios, P., Aguirre Paleo, S., Vargas Sandoval, M., Paz Da Silva, R., & Lara-Chávez, M. B. N. (2019). Identificación de hongos micorrizógenos arbusculares en huertos de aguacate de Uruapan, Michoacán. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(SPE23), 267-276.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Requena, N., Serrano, E., Ocón, A., & Breuninger, M. (2007). Plant signals and fungal perception during arbuscular mycorrhiza establishment. *Phytochemistry*, 68(1), 33-40.

Reyes-Jaramillo, I., Chimal-Sánchez, E., Salmerón-Castro, JY, Vázquez-Pérez, N., & Varela-Fregoso, L. (2019). Comunidad de hongos micorrizógenos arbusculares (Glomeromycota) asociada con agaves mezcaleros de Oaxaca y su relación con algunas propiedades edáficas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 90.

Robles-Martínez, M. D. L., Robles, C., Rivera-Becerril, F., Ortega-Larrocea, M. D. P., & Pliego-Marín, L. (2013). Inoculación con consorcios nativos de hongos de micorriza arbuscular en *Agave angustifolia* Haw. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(SPE6), 1231-1240.

Robert, C. A., Erb, M., Duployer, M., Zwahlen, C., Doyen, G. R., & Turlings, T. C. (2012). Herbivore-induced plant volatiles mediate host selection by a root herbivore. *New Phytologist*, 194(4), 1061-1069.

Rodrigues, M. A., Pereira, A., Cabanas, J. E., Dias, L., Pires, J., & Arrobas, M. (2006). Crops use-efficiency of nitrogen from manures permitted in organic farming. *European journal of agronomy*, 25(4), 328-335.

Romero, A., Chamorro, L., & Sans, F. X. (2008). Weed diversity in crop edges and inner fields of organic and conventional dryland winter cereal crops in NE Spain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 124(1-2), 97-104.

Römheld, V. (2012). Diagnosis of deficiency and toxicity of nutrients. In *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (pp. 299-312). Academic press.

- Rose, M. T., Patti, A. F., Little, K. R., Brown, A. L., Jackson, W. R., & Cavagnaro, T. R. (2014). A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. *Advances in agronomy*, 124, 37-89.
- Rosenberg, K., Bertaux, J., Krome, K., Hartmann, A., Scheu, S., & Bonkowski, M. (2009). Soil amoebae rapidly change bacterial community composition in the rhizosphere of *Arabidopsis thaliana*. *The ISME Journal*, 3(6), 675-684.
- Rosset, P., & Altieri, M. Á. (2018). *Agroecología: Ciencia y política*. Fundación Tierra. Consultado el 20 de julio de 2021 en: <http://celia.agroeco.org/wp-content/uploads/2018/12/Rosset-y-Altieri-texto-completo-sin-portada-1.pdf>.
- Ruiz, F. P. (2008). Factores limitantes y estrategias de establecimiento de plantas leñosas en ambientes semiáridos. Implicaciones para la restauración. *Revista Ecosistemas*, 17(1).
- Rusek, J. (1998). Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity & Conservation*, 7(9), 1207-1219.
- Salas-Tornés, J. & Hernández-Sánchez, L.Y. (2015). Mezcal cupreata, fuente de admiración. *Ciencia*, 66, 40-47. Consultado el 2-02-19 en: [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66\\_3/PDF/Mezcal.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/66_3/PDF/Mezcal.pdf)
- Saleque, M. A., & Kirk, G. J. D. (1995). Root-induced solubilization of phosphate in the rhizosphere of lowland rice. *New Phytologist*, 129(2), 325-336.
- Sánchez-Mendoza, S., Bautista-Cruz, A., Robles, C., & Rodríguez-Mendoza, M. D. L. N. (2019). Irrigation and slow-release fertilizers promote the nutrition and growth of *Agave angustifolia* Haw. *Journal of plant nutrition*, 43(5), 699-708.
- Sanders, I. R., Alt, M., Groppe, K., Boller, T., & Wiemken, A. (1995). Identification of ribosomal DNA polymorphisms among and within spores of the Glomales: application to studies on the genetic diversity of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *New Phytologist*, 130(3), 419-427.
- Sannino, F., & Gianfreda, L. (2001). Pesticide influence on soil enzymatic activities. *Chemosphere*, 45(4-5), 417-425.
- Santos, A., & Flores, M. (1995). Effects of glyphosate on nitrogen fixation of free-living heterotrophic bacteria. *Letters in Applied Microbiology*, 20(6), 349-352.
- Sarandón, S. J. (2010). Biodiversidad, agrobiodiversidad y agricultura sustentable. Análisis del Convenio sobre Diversidad Biológica. León Sicard, TE y Altieri, M., *Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones*, edit. Instituto de Estudios Ambientales, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA), Medellín, Colombia, 105-129.
- Sarandón, S. J. (2002). El agroecosistema: un sistema natural modificado. *Agroecología: El camino para una agricultura sustentable*. Ediciones Científicas Americanas, La Plata, Argentina.
- Sarandón, S. J., & Flores, C. C. (2014). La insustentabilidad del modelo agrícola actual. *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*, 13-41.

Savin, M. C., Purcell, L. C., Daigh, A., & Manfredini, A. (2009). Response of mycorrhizal infection to glyphosate applications and P fertilization in glyphosate-tolerant soybean, maize, and cotton. *Journal of plant nutrition*, 32(10), 1702-1717.

Schüßler, A., Schwarzott, D., & Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological research*, 105(12), 1413-1421.

SENASICA. (2016). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Ficha técnica. Picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal 1838 (Coleoptera: Dryophthoridae). Consultado el 4 de marzo de 2023 en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/281890/Ficha\\_Tecnica\\_Picudo\\_del\\_agave\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/281890/Ficha_Tecnica_Picudo_del_agave_2016.pdf)

SENASICA. (2015). Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Manual de Plagas y Enfermedades del Agave. Campaña Contra Plagas Reglamentadas del Agave. Consultado el 4 de marzo de 2023 en: <http://publico.senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp?IdDocumento=30133&IdUrl=81268&objeto=Documento&IdObjetoBase=30133&down=true>

Shaxson, F., & Barber, R. (2003). *Optimizing soil moisture for plant production: The significance of soil porosity*. Rome, Italy: UN-FAO.

Shaxson, F., & Barber, R. (2008). *Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal-El significado de la porosidad del suelo* (Vol. 79). Food & Agriculture Org. Consultado el 21 de julio de 2021 en: <https://www.fao.org/3/y4690s/y4690s00.htm#Contents>

Sieverding, E. (1986). El papel de las micorrizas en la agricultura. *Suelos ecuatoriales*, 16(1), 52-59.

Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., & Deneff, K. (2004). A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and tillage research*, 79(1), 7-31.

Smith, S. E., & Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic press.

Solís-Aguilar, J. F., González-Hernández, H., Leyva-Vázquez, J. L., Equihua-Martínez, A., Flores-Mendoza, F. J., & Martínez-Garza, Á. (2001). *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, plaga del agave tequilero en Jalisco, México. *Agrociencia*, 35(6), 663-670.

Somarriba, E. (1990). ¿Qué es agroforestería? Consultado el 7 de julio de 2021 en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6962>

Spann, T. M., & Schumann, A. W. (2010). Mineral nutrition contributes to plant disease and pest resistance. *EDIS*, 2010(4).

Swift, M. J., Bignell, D. E., Moreira, F. M., & Husing, E. J. (2012). El inventario de la biodiversidad biológica del suelo: conceptos y guía general. *Manual de Biología de suelos tropicales. SEMARNAT, INE*, 29-52.

Temple, S. J., Vance, C. P., & Gantt, J. S. (1998). Glutamate synthase and nitrogen assimilation. *Trends in plant science*, 3(2), 51-56.

Tinker, P. B., & Nye, P. H. (2000). *Solute movement in the rhizosphere*. Oxford University Press.

Titus, J. H., & del Moral, R. (1998). Vesicular-arbuscular mycorrhizae influence Mount St. Helens pioneer species in greenhouse experiments. *Oikos*, 495-510.

Trinidad-Cruz, J. R., Quiñones-Aguilar, E. E., Hernández-Cuevas, L. V., López-Pérez, L., & Rincón-Enríquez, G. (2017). Hongos micorrízicos arbusculares asociados a la rizosfera de *Agave cupreata* en regiones mezcaleras del estado de Michoacán, México. *Revista mexicana de micología*, 45, 13-25.

Toral-Paz J.T. y A. Martínez Palacios. 2014. Maguey chino un recurso natural sobre explotado y al borde de la extinción en Michoacán. *Revista Saber Más*, No 19: 9-11.

Thrupp, L. A. (2004). The importance of biodiversity in agroecosystems. *Journal of Crop Improvement*, 12(1-2), 315-337.

Vallini, G., Pera, A., Avio, L., Valdrighi, M., & Giovannetti, M. (1993). Influence of humic acids on laurel growth, associated rhizospheric microorganisms, and mycorrhizal fungi. *Biology and Fertility of Soils*, 16(1), 1-4.

Van Der Heijden, M. G., Klironomos, J. N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., ... & Sanders, I. R. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, 396(6706), 69-72.

Vázquez, A. P., & Sánchez, C. L. (2009). Agricultura y deterioro ambiental. *Elementos: Ciencia y cultura*, 16(73), 19-25.

Velini, E. D., Alves, E., Godoy, M. C., Meschede, D. K., Souza, R. T., & Duke, S. O. (2008). Glyphosate applied at low doses can stimulate plant growth. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 64(4), 489-496.

Vergara, C., Araujo, K. E., Urquiaga, S., Schultz, N., Balieiro, F. D. C., Medeiros, P. S., ... & Zilli, J. E. (2017). Dark septate endophytic fungi help tomato to acquire nutrients from ground plant material. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2437.

Verhulst, N., François, I., & Govaerts, B. (2015). Agricultura de conservación y captura de carbono en el suelo: Entre el mito y la realidad del agricultor.

Vierheilig, H. (2004). Regulatory mechanisms during the plant arbuscular mycorrhizal fungus interaction. *canadian Journal of Botany*, 82(8), 1166-1176.

Villalba, A. (2009). Resistencia a herbicidas: Glifosato. *Ciencia, docencia y tecnología*, (39), 169-186.

De Vries, F. T., & Shade, A. (2013). Controls on soil microbial community stability under climate change. *Frontiers in microbiology*, 4, 265.

Waksman, S. A. (1936). *Humus* (No. 631.4/W149). London, UK: Baillière, Tindall & Cox.

Warner, N. J., Allen, M. F., & MacMahon, J. A. (1987). Dispersal agents of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a disturbed arid ecosystem. *Mycologia*, 79(5), 721-730.

de Weert, S., Vermeiren, H., Mulders, I. H., Kuiper, I., Hendrickx, N., Bloemberg, G. V., ... & Lugtenberg, B. J. (2002). Flagella-driven chemotaxis towards exudate components is an important trait for tomato root colonization by *Pseudomonas fluorescens*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, *15*(11), 1173-1180.

Willer, H., & Lernoud, J. (2019). *The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2017* (pp. 1-336). Research Institute of Organic Agriculture FiBL and IFOAM-Organics International.

Wolansky, M. J. (2011). Plaguicidas y salud humana. Consultado el 10 de octubre de 2021 en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/84388>

Worrall, F., Fernandez-Perez, M., Johnson, A. C., Flores-Cesperedes, F., & Gonzalez-Pradas, E. (2001). Limitations on the role of incorporated organic matter in reducing pesticide leaching. *Journal of contaminant hydrology*, *49*(3-4), 241-262.

Wu, Q. S., Li, G. H., & Zou, Y. N. (2011). Roles of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient acquisition of peach (*Prunus persica* L. Batsch) seedlings. *J Anim Plant Sci*, *21*(4), 746-750.

Yamamoto, H., Nakamura, Y., Moriguchi, S., Nakamura, Y., Honda, Y., Tamura, I., ... & Sekizawa, J. (2009). Persistence and partitioning of eight selected pharmaceuticals in the aquatic environment: laboratory photolysis, biodegradation, and sorption experiments. *Water research*, *43*(2), 351-362.

Young, I. M. (1995). Variation in moisture contents between bulk soil and the rhizosphere of wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Wembley). *New Phytologist*, *130*(1), 135-139.

Zhang, N., Wang, D., Liu, Y., Li, S., Shen, Q., & Zhang, R. (2014). Effects of different plant root exudates and their organic acid components on chemotaxis, biofilm formation and colonization by beneficial rhizosphere-associated bacterial strains. *Plant and soil*, *374*(1), 689-700.

Zaller, J. G., Heigl, F., Ruess, L., & Grabmaier, A. (2014). Glyphosate herbicide affects belowground interactions between earthworms and symbiotic mycorrhizal fungi in a model ecosystem. *Scientific reports*, *4*(1), 1-8.

## 15. CRÉDITOS DE LAS IMÁGENES

Imágenes utilizadas para diseñar la parte derecha de la figura 3 del presente trabajo:

- Alfalfa: <https://es.dreamstime.com/ilustraci%C3%B3n-m%C3%A9dica-de-vectores-flores-curaci%C3%B3n-alfalfa-aislada-en-fondo-blanco-dise%C3%B1o-plano-infograf%C3%A1da-flor-lucerosa-image167002129>
- Agave (se encuentra en el diseño de la página web): <http://www.agavepages.co.uk/>

Las fotografías de la izquierda fueron tomadas personalmente.

## 16. APÉNDICE I. DE LOS ANÁLISIS DE SUELOS

En las siguientes páginas, se muestran los resultados de los análisis de suelo obtenidos por el laboratorio CIDAM.



### INFORME DE RESULTADOS

<b>Informe de Resultados R-LANV-001-Suelo-01</b>		Edición: <b>1</b>	<b>28/08/2020</b>	No. de Informe: <b>OSC22-1014-1</b>	
<b>Datos del Cliente</b>					
Nombre del cliente: <b>UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO</b>					
<b>SANTIAGO TAPIA</b>					
Calle: <b>S/N</b> No. Exterior: <b>403</b>					
Dirección del cliente: <b>CENTRO</b> <b>58000</b> <b>MORELIA</b> <b>MICHOACÁN</b>					
Colonia/Fraccionamiento: <b>CENTRO</b> Código Postal: <b>58000</b> Localidad/ Municipio: <b>MORELIA</b> Estado: <b>MICHOACÁN</b>					
Nombre del contacto del Cliente: <b>ALEJANDRO MARTÍNEZ PALACIOS</b>					
Correo: <b>alejandro.palacios@umich.mx</b> Teléfono: <b>4434097536</b>					
Fecha de recepción: <b>14/09/2022</b> Fecha de ejecución: <b>del 15/09/2022 al 26/09/2022</b> Fecha de emisión del informe: <b>26/09/2022</b>					
<b>Descripción de la muestra</b>					
Identificación	Cantidad (kg)	Cultivo Actual	Cultivo Anterior	Profundidad de muestreo (cm)/ superficie muestreada (ha)	Fecha de muestreo
T1	Aprox. 1.0	No indicado	No indicado	No indicado	No indicado
<b>Método utilizado:</b>					
NOM-021-RECNAT-2000. Materia orgánica: método de Walkley-Black; textura: método de Bouyoucos, densidad aparente: método de la probeta; nitrógeno nítrico: método colorimétrico (como nitratos), carbonato y bicarbonatos: titulación, cloruros: titulación Mohr, sulfatos: método turbidimétrico, fósforo: método Olsen o Bray; cationes intercambiables: extracción con acetato de amonio y MP-AES; micro-elementos: extracción con DTPA y MP-AES, acidez y aluminio intercambiable: extracción con cloruro de potasio y titulación.					
<b>Condiciones ambientales durante el proceso de la muestra</b>					
Lugar donde se realizan las pruebas de ensayo: <b>Laboratorio No. 04, Planta Baja.</b>					
Patrones de medida: <b>Reactivos grado analítico (pureza &gt; 98%), estándares grado absorción atómica</b>					
Temperatura ambiental:	<b>entre 25 y 30 °C</b>	Presión atmosférica:	<b>entre 814-810 hPa</b>	Humedad Relativa: <b>entre 30 y 55%</b>	
<b>Información para el cliente</b>					
1. Con base en los resultados obtenidos, es responsabilidad del usuario el analizar los resultados de las pruebas de ensayo con respecto a las especificaciones establecidas por el mismo, para determinar el criterio de aceptación o rechazo.					
2. Los resultados del presente informe solo son aplicables a la muestra descrita en este documento.					
3. Este documento es válido solo en su forma original (impreso o electrónico) con las correspondientes firmas. No se debe reproducir este Informe de pruebas de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.					
4. El Laboratorio no se hace responsable del muestreo.					
5. Alcance no acreditado.					



Tel: (443) 299-0181 - (443) 299-0264 ext. 512  
 E-mail: [ventas@cidam.org](mailto:ventas@cidam.org) [www.cidam.org](http://www.cidam.org) facebook: /cidam  
 Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

C.c.p. Archivo

Página 1 de 2

Análisis de suelo del tratamiento Glifosato realizado por el laboratorio CIDAM. Parte 1.

## INFORME DE RESULTADOS

Informe de Resultados R-LANV-001-Suelo-01	Edición: 1 28/08/2020	No. de Informe: OSC22-1014-1
---	-----------------------	------------------------------

RESULTADOS DEL ANÁLISIS					
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO					
Identificación de la muestra: T1					
Parámetros Físicos		Resultado	Niveles	Nivel en muestra	
pH 1:2 (H <sub>2</sub> O)		7,42	6.0 - 7.5	Moderadamente alcalino	
Conductividad Eléctrica 1:2 (H <sub>2</sub> O) (mS/cm)		0,16	0.5 - 1.5	Libre de sales	
Conductividad Eléctrica en Extracto de Saturación (mS/cm)		0,52	1.1 - 3.8	Libre de sales	
Materia Orgánica (%)		2,76	1.21 - 3.2	Moderadamente alto	
Textura (Triángulo de Texturas)		Franco arcilloso			
Arcilla (%)		34,52			
Arena (%)		44,04			
Limo (%)		21,44			
Densidad Aparente del Suelo (g/cm <sup>3</sup> )		1,00			
Nitrógeno Nitrico (ppm, mg/kg)		2,29	10.1 - 20.0	Bajo	
Aniones (-)		ppm	Niveles	Nivel en muestra	
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ) (mg/L extracto de saturación)		0,00			
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (mg/L extracto de saturación)		232,84			
Cloruros (Cl <sup>-</sup> ) (mg/L extracto de saturación)		40,08			
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) (mg/L extracto de saturación)		19,57			
Fósforo (Bray) (mg/kg)		22,69	15.0 - 30.0	Medio	
Cationes (+)	ppm (mg/kg)	Cmol/kg	% Base Saturada	Niveles	Nivel en muestra
Sodio (Na <sup>+</sup> )	57,34	0,25	1,41	< 150 ppm	Moderadamente bajo
Potasio (K <sup>+</sup> )	295,76	0,76	4,26	100 - 250 ppm	Medio
Calcio (Ca <sup>2+</sup> )	2.106,38	10,51	59,26	1500 - 3500 ppm	Medio
Magnesio (Mg <sup>2+</sup> )	755,86	6,22	35,07	200 - 500 ppm	Moderadamente alto
Capacidad de Intercambio Catiónico		17,74			
Microelementos		ppm (mg/kg)	Niveles	Nivel en muestra	
Hierro (Fe <sup>2+</sup> )		92,54	5.0 - 30.0 ppm	Muy alto	
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )		2,02	1.3 - 5.0 ppm	Medio	
Cobre (Cu <sup>2+</sup> )		1,07	0.8 - 3.0 ppm	Medio	
Manganeso (Mn <sup>2+</sup> )		56,34	5.0 - 15.0 ppm	Muy alto	
Boro (B <sup>3+</sup> )		1,61	0.3 - 1.5 ppm	Moderadamente alto	
Observaciones:					

ND: No detectado

*Cristina Cerriteño B.*

Realizó

Cristina Cerriteño Basaldúa

Técnico Analista

ANEXOS

--

C.c.p. Archivo



Tel: (443) 299-0181 · (443) 299-0264 ext. 512

E-mail: ventas@cidam.org [www.cidam.org](http://www.cidam.org) facebook: /cidam

Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

Página 2 de 2

Análisis de suelo del tratamiento Glifosato realizado por el laboratorio CIDAM. Parte 2.

## INFORME DE RESULTADOS

Informe de Resultados R-LANV-001-Suelo-01	Edición: 1	28/08/2020	No. de Informe: OSC22-1014-2
---	------------	------------	------------------------------

Datos del Cliente			
Nombre del cliente: UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO			
SANTIAGO TAPIA		S/N	403
Calle			
Dirección del cliente: CENTRO	58000	No. Interior MORELIA	No. Exterior MICHOACÁN
Colonia/Fraccionamiento		Código Postal	Localidad/ Municipio Estado
Nombre del contacto del Cliente: ALEJANDRO MARTÍNEZ PALACIOS			
Correo: alejandro.palacios@umich.mx		Teléfono: 4434097536	
Fecha de recepción: 14/09/2022	Fecha de ejecución: del 15/09/2022 al 26/09/2022	Fecha de emisión del informe: 26/09/2022	

Descripción de la muestra					
Identificación	Cantidad (kg)	Cultivo Actual	Cultivo Anterior	Profundidad de muestreo (cm)/ superficie muestreada (ha)	Fecha de muestreo
T5	Aprox. 1.0	No indicado	No indicado	No indicado	No indicado

**Método utilizado:**  
 NOM-021-RECNAT-2000. Materia orgánica: método de Walkley-Black; textura: método de Bouyoucos, densidad aparente: método de la probeta; nitrógeno nítrico: método colorimétrico (como nitratos), carbonato y bicarbonatos: titulación; cloruros: titulación Mohr; sulfatos: método turbidimétrico; fósforo: método Olsen o Bray; cationes intercambiables: extracción con acetato de amonio y MP-AES; micro-elementos: extracción con DTPA y MP-AES, acidez y aluminio intercambiable: extracción con cloruro de potasio y titulación.

Condiciones ambientales durante el proceso de la muestra			
Lugar donde se realizan las pruebas de ensayo: Laboratorio No. 04, Planta Baja.			
Patrones de medida: Reactivos grado analítico (pureza > 98%), estándares grado absorción atómica			
Temperatura ambiental: entre 25 y 30 °C	Presión atmosférica: entre 814-810 hPa	Humedad Relativa: entre 30 y 55%	
Información para el cliente			
1. Con base en los resultados obtenidos, es responsabilidad del usuario el analizar los resultados de las pruebas de ensayo con respecto a las especificaciones establecidas por el mismo, para determinar el criterio de aceptación o rechazo.			
2. Los resultados del presente informe solo son aplicables a la muestra descrita en este documento.			
3. Este documento es válido solo en su forma original (impreso o electrónico) con las correspondientes firmas. No se debe reproducir este Informe de pruebas de su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.		ensayo, excepto en	
4. El Laboratorio no se hace responsable del muestreo.			
5. Alcance no acreditado.			



Tel: (443) 299-0181 · (443) 299-0264 ext. 512  
 E-mail: ventas@cidam.org [www.cidam.org](http://www.cidam.org) facebook: /cidam  
 Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

C.p.p. Archivo

Página 1 de 2

Análisis de suelo del tratamiento Humus/Poda realizado por el laboratorio CIDAM. Parte

## INFORME DE RESULTADOS

Informe de Resultados R-LANV-001-Suelo-01	Edición: 1	28/08/2020	No. de Informe: OSC22-1014-2
---	------------	------------	------------------------------

RESULTADOS DEL ANÁLISIS						
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO						
Identificación de la muestra: T5						
Parámetros Físicos		Resultado	Niveles	Nivel en muestra		
pH 1:2 (H <sub>2</sub> O)		7,63	6.0 - 7.5	Moderadamente alcalino		
Conductividad Eléctrica 1:2 (H <sub>2</sub> O) (mS/cm)		0,08	0.5 - 1.5	Libre de sales		
Conductividad Eléctrica en Extracto de Saturación (mS/cm)		0,34	1.1 - 3.8	Libre de sales		
Materia Orgánica (%)		2,78	1.21 - 3.2	Moderadamente alto		
Textura (Triángulo de Texturas)		Franco arcilloso				
Arcilla (%)		36,52				
Arena (%)		42,04				
Limo (%)		21,44				
Densidad Aparente del Suelo (g/cm <sup>3</sup> )		0,92				
Nitrógeno Nitrico (ppm, mg/kg)		3,80	10.1 - 20.0	Bajo		
Aniones (-)		ppm	Niveles	Nivel en muestra		
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )(mg/L extracto de saturación)		0,00				
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )(mg/L extracto de saturación)		128,46				
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )(mg/L extracto de saturación)		46,25				
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )(mg/L extracto de saturación)		81,35				
Fósforo (Olsen) (mg/kg)		40,75	15.0 - 30.0	Muy alto		
Cationes (+)		ppm (mg/kg)	Cmol/kg	% Base Saturada	Niveles	Nivel en muestra
Sodio (Na <sup>+</sup> )		64,72	0,28	1,76	< 150 ppm	Moderadamente bajo
Potasio (K <sup>+</sup> )		247,40	0,63	3,96	100 - 250 ppm	Medio
Calcio (Ca <sup>2+</sup> )		1.920,42	9,58	60,02	1500 - 3500 ppm	Medio
Magnesio (Mg <sup>2+</sup> )		664,52	5,47	34,25	200 - 500 ppm	Moderadamente alto
Capacidad de Intercambio Catiónico		15,97				
Microelementos		ppm (mg/kg)	Niveles	Nivel en muestra		
Hierro (Fe <sup>2+</sup> )		147,38	5.0 - 30.0 ppm	Muy alto		
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )		2,48	1.3 - 5.0 ppm	Medio		
Cobre (Cu <sup>2+</sup> )		2,86	0.8 - 3.0 ppm	Muy alto		
Manganeso (Mn <sup>2+</sup> )		78,19	5.0 - 15.0 ppm	Muy alto		
Boro (B <sup>3+</sup> )		1,72	0.3 - 1.5 ppm	Moderadamente alto		
Observaciones:						

ND: No detectado

Cristina Cerriteño B.

Realizó

Cristina Cerriteño Basaldúa

Técnico Analista

ANEXOS

C.c.p. Archivo



Tel: (443) 299-0181 · (443) 299-0264 ext. 512

E-mail: ventas@cidam.org [www.cidam.org](http://www.cidam.org) facebook: /cidam

Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

Página 2 de 2

Análisis de suelo del tratamiento Humus/Poda realizado por el laboratorio CIDAM. Parte

2

## INFORME DE RESULTADOS

Informe de Resultados R-LANV-001-Suelo-01	Edición: 1	28/08/2020	No. de Informe: OSC22-1014-3
---	------------	------------	------------------------------

Datos del Cliente			
Nombre del cliente: UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO			
SANTIAGO TAPIA		S/N	403
Calle			
Dirección del cliente: CENTRO	58000	No. Interior MORELIA	No. Exterior MICHOACÁN
Colonia/Fraccionamiento		Código Postal	Localidad/ Municipio
Estado			
Nombre del contacto del Cliente: ALEJANDRO MARTÍNEZ PALACIOS			
Correo: alejandro.palacios@umich.mx		Teléfono: 4434097536	
Fecha de recepción: 14/09/2022	Fecha de ejecución: del 15/09/2022 al 26/09/2022	Fecha de emisión del informe: 26/09/2022	

Descripción de la muestra					
Identificación	Cantidad (kg)	Cultivo Actual	Cultivo Anterior	Profundidad de muestreo (cm)/ superficie muestreada (ha)	Fecha de muestreo
T7	Aprox. 1.0	No indicado	No indicado	No indicado	No indicado

Método utilizado:
NOM-021-RECNAT-2000. Materia orgánica: método de Walkley-Black; textura: método de Bouyoucos, densidad aparente: método de la probeta; nitrógeno nítrico: método colorimétrico (como nitratos), carbonato y bicarbonatos: titulación, cloruros: titulación Mohr; sulfatos: método turbidimétrico; fósforo: método Olsen o Bray; cationes intercambiables: extracción con acetato de amonio y MP-AES; micro-elementos: extracción con DTPA y MP-AES; acidez y aluminio intercambiable: extracción con cloruro de potasio y titulación.

Condiciones ambientales durante el proceso de la muestra			
Lugar donde se realizan las pruebas de ensayo: Laboratorio No. 04, Planta Baja.			
Patrones de medida: Reactivos grado analítico (pureza > 98%), estándares grado absorción atómica			
Temperatura ambiental: entre 25 y 30 °C	Presión atmosférica: entre 814-810 hPa	Humedad Relativa: entre 30 y 55%	

Información para el cliente	
1. Con base en los resultados obtenidos, es responsabilidad del usuario el analizar los resultados de las pruebas de ensayo con respecto a las especificaciones establecidas por el mismo, para determinar el criterio de aceptación o rechazo.	
2. Los resultados del presente informe solo son aplicables a la muestra descrita en este documento.	
3. Este documento es válido solo en su forma original (impreso o electrónico) con las correspondientes firmas. No se debe reproducir este Informe de pruebas de su totalidad, sin la aprobación escrita del laboratorio.	ensayo, excepto en
4. El Laboratorio no se hace responsable del muestreo.	
5. Alcance no acreditado.	



Tel: (443) 299-0181 · (443) 299-0264 ext. 512  
E-mail: [ventas@cidam.org](mailto:ventas@cidam.org) [www.cidam.org](http://www.cidam.org) facebook: /cidam  
Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

C.e.p. Archivo

Página 1 de 2

Análisis de suelo del tratamiento Poda realizado por el laboratorio CIDAM. Parte 1.

## INFORME DE RESULTADOS

Informe de Resultados R-LANV-001-Suelo-01	Edición: 1 28/08/2020	No. de Informe: OSC22-1014-3
---	-----------------------	------------------------------

RESULTADOS DEL ANÁLISIS						
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO						
Identificación de la muestra: T7						
Parámetros Físicos		Resultado	Niveles	Nivel en muestra		
pH 1:2 (H <sub>2</sub> O)		7,36	6.0 - 7.5	Moderadamente alcalino		
Conductividad Eléctrica 1:2 (H <sub>2</sub> O) (mS/cm)		0,10	0.5 - 1.5	Libre de sales		
Conductividad Eléctrica en Extracto de Saturación (mS/cm)		0,39	1.1 - 3.8	Libre de sales		
Materia Orgánica (%)		3,17	1.21 - 3.2	Moderadamente alto		
Textura (Triángulo de Texturas)		Arcilla				
Arcilla (%)		40,52				
Arena (%)		36,04				
Limo (%)		23,44				
Densidad Aparente del Suelo (g/cm <sup>3</sup> )		0,82				
Nitrógeno Nitrico (ppm, mg/kg)		4,20	10.1 - 20.0	Bajo		
Aniones (-)		ppm	Niveles	Nivel en muestra		
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ) (mg/L extracto de saturación)		0,00				
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (mg/L extracto de saturación)		160,58				
Cloruros (Cl <sup>-</sup> ) (mg/L extracto de saturación)		40,08				
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) (mg/L extracto de saturación)		36,04				
Fósforo (Bray) (mg/kg)		8,88	15.0 - 30.0	Bajo		
Cationes (+)		ppm (mg/kg)	Cmol/kg	% Base Saturada	Niveles	Nivel en muestra
Sodio (Na <sup>+</sup> )		66,66	0,29	1,53	< 150 ppm	Moderadamente bajo
Potasio (K <sup>+</sup> )		299,13	0,77	4,03	100 - 250 ppm	Medio
Calcio (Ca <sup>2+</sup> )		2.281,77	11,39	59,92	1500 - 3500 ppm	Medio
Magnesio (Mg <sup>2+</sup> )		797,52	6,56	34,53	200 - 500 ppm	Moderadamente alto
Capacidad de Intercambio Catiónico		19,00				
Microelementos		ppm (mg/kg)	Niveles	Nivel en muestra		
Hierro (Fe <sup>2+</sup> )		168,29	5.0 - 30.0 ppm	Muy alto		
Zinc (Zn <sup>2+</sup> )		3,68	1.3 - 5.0 ppm	Moderadamente alto		
Cobre (Cu <sup>2+</sup> )		1,22	0.8 - 3.0 ppm	Medio		
Manganeso (Mn <sup>2+</sup> )		93,89	5.0 - 15.0 ppm	Muy alto		
Boro (B <sup>3+</sup> )		1,20	0.3 - 1.5 ppm	Medio		
Observaciones:						

ND: No detectado

Cristina Cerriteño B.

Realizó

Cristina Cerriteño Basaldúa

Técnico Analista

**ANEXOS**

C.p. Archivo



Tel: (443) 299-0181 · (443) 299-0264 ext. 512

E-mail: [ventas@cidam.org](mailto:ventas@cidam.org) [www.cidam.org](http://www.cidam.org) facebook: /cidam

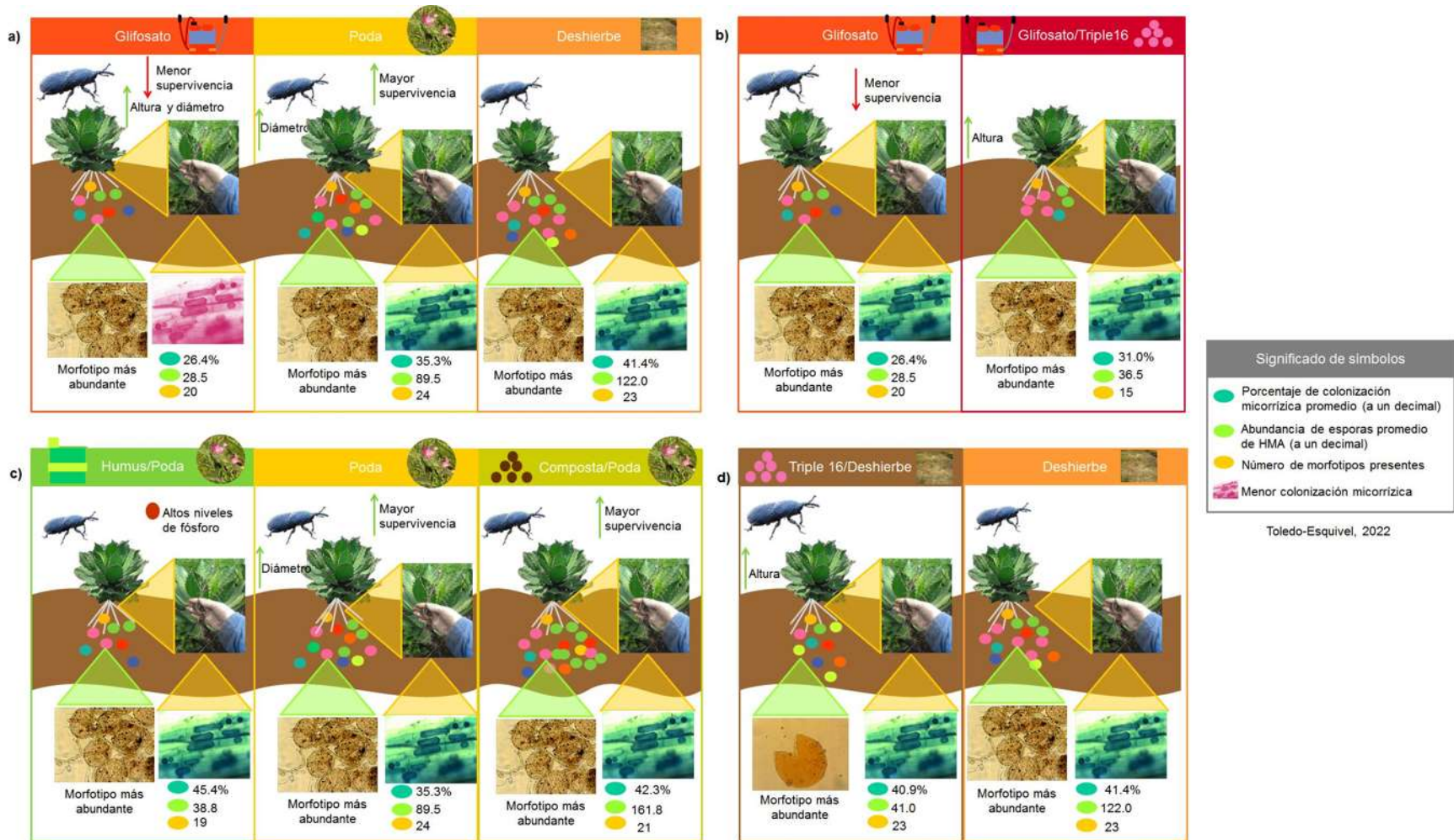
Antigua Carretera a Pátzcuaro, km 8. Morelia, Michoacán de Ocampo, México. C.P. 58341

Página 2 de 2

Análisis de suelo del tratamiento Poda realizado por el laboratorio CIDAM. Parte 2.

## **17. APÉNDICE II. ESQUEMA GRÁFICO DEL ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS VARIABLES DE ESTUDIO Y LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS**

En el siguiente esquema, se aprecia de manera conjunta, los resultados obtenidos de las variables de estudio y las combinaciones de análisis de los tratamientos.



Análisis comparativo entre las variables de estudio y los diferentes tratamientos. En los incisos, se muestran las comparaciones entre los tratamientos. a) Tratamientos del manejo de la vegetación. b) Tratamientos bajo un sistema de G con y sin T16. c) Tratamientos bajo un sistema de P con y sin fertilización orgánica. d) Tratamientos bajo un sistema de D con y sin T16.