

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EVALUACIÓN DE SUSTRATOS ORGÁNICOS EN LA PRODUCCIÓN DE
PLÁNTULAS DE *Agave gentryi* L. (B. Ullrich) EN DOS LOCALIDADES DE
NUEVO LEÓN**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

P R E S E N T A

ING. ROCÍO SILLER PÉREZ

GENERAL ESCOBEDO, NUEVO LEÓN

JUNIO, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**EVALUACIÓN DE SUSTRATOS ORGÁNICOS EN LA PRODUCCIÓN DE
PLÁNTULAS DE *Agave gentryi* L. (B. Ullrich) EN DOS LOCALIDADES DE
NUEVO LEÓN**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

P R E S E N T A

ING. ROCÍO SILLER PÉREZ

GENERAL ESCOBEDO, NUEVO LEÓN

JUNIO, 2025

ESTA TESIS FUE REVISADA Y APROBADA POR EL
COMITÉ PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

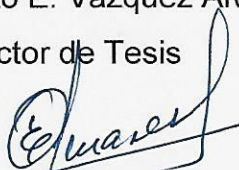
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

COMITÉ PARTICULAR



Ph.D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado

Director de Tesis



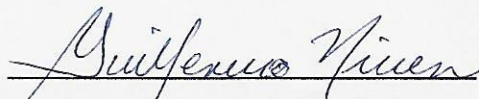
Ph.D. Emilio Olivares Sáenz

Codirector de Tesis



Dra. Ma. Del Carmen Ojeda Zacarías

Asesora



M.C. Guillermo Niven Martínez

Asesor

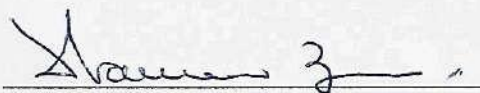


Ph.D. Francisco Zavala García

Subdirector de Posgrado e Investigación

ESTA TESIS FUE APROBADA EN FORMATO, POR EL COMITÉ DE POSGRADO,
ATENDIENDO A EL ARTÍCULO 123, DEL REGLAMENTO GENERAL DEL
SISTEMA DE POSGRADO DE LA UANL.

COMITÉ DE POSGRADO



Ph. D. Francisco Zavala García
Presidente



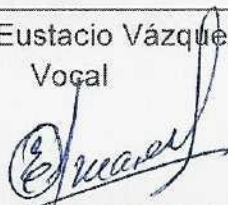
Dra. Nelly Cristina Ramírez Grimaldo
Secretaria



Dra. Lidia Rosaura Salas Cruz
Vocal



Ph.D. Rigoberto Eustacio Vázquez Alvarado
Vocal



Ph.D. Emilio Olivares Sáenz
Vocal



Dra. Sugey Ramona Sinagawa García
Vocal



Dr. Guillermo Niño Medina
Vocal

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por el apoyo económico a través de la beca de manutención durante la realización de esta tesis.

A la Subdirección de Posgrado de la Facultad de Agronomía, por abrirme generosamente sus puertas. Extiendo mi gratitud al Centro de Agricultura Protegida y todo su equipo de trabajo por permitirme llevar a cabo parte de mi investigación en sus instalaciones, así como a los laboratorios de Remediación Ambiental, Ciencias Naturales, Fitopatología y laboratorio de suelos de la Unidad Académica Marín por su valioso apoyo en la realización de los diferentes análisis requeridos.

Agradezco profundamente a mi director de tesis Ph.D. Rigoberto E. Vázquez Alvarado, por sus enseñanzas, su entusiasmo y dedicación en esta área del conocimiento. Su constante apoyo, aliento y orientación fueron esenciales durante este proceso.

Agradezco ampliamente al Ph.D. Emilio Olivares Sáenz, codirector de tesis, por sus valiosas e incalculables aportaciones a este trabajo en la parte estadística, así como por sus sabios consejos.

A la Dra. Ma. del Carmen Ojeda Zacarías, asesora de esta tesis, cuyas contribuciones han enriquecido significativamente mi trabajo.

Al M.C. Guillermo Niven Martínez asesor de esta tesis, por sus contribuciones en la parte de análisis y manejo de las plántulas, así como sus importantes consejos de vida.

A la Dra. Marisol González Delgado quien formó parte de mi comité al inicio de este trabajo y compartió conmigo su interés por la investigación le agradezco sus consejos y apoyo, la recuerdo con cariño.

A mis respetados maestros Dra. Lizangela Guerra Fuentes, Dra. Laiju Kuzhuppillymyal Prabhakarankutty, Ph.D. Francisco Zavala García, Dr. José Elías

Treviño Ramírez, M.C. Eduardo García Zambrano y Dr. Iosvany López Sandín por compartir conmigo su vasto conocimiento y su calidez humana.

Al Dr. Roberto Carranza de la Rosa y al Ing. Fernando Cabrieles por su colaboración y apoyo invaluable en el análisis de suelos y tejido vegetal.

Expreso mi agradecimiento a Arely Rivera Luna y a su familia, por su apoyo crucial en la parte experimental realizada en la localidad San Joaquín de Soto; sin su ayuda, esta investigación no habría alcanzado sus objetivos.

A mis compañeros del posgrado, Mayra, Eddaliz, Nirvana, Elizabeth, Emilio, Mario, Jesús, Esteban, Francisco y Daniel les agradezco sinceramente su amistad, su apoyo con sugerencias, críticas constructivas y material de laboratorio, que fueron clave para la realización de esta investigación. También valoro enormemente los momentos compartidos, en especial las risas, que aligeraron y dieron respiro durante los instantes de mayor estrés, haciendo esta experiencia mucho más llevadera.

A J. Álvaro Gómez y a su familia por su gran apoyo en esta etapa de mi vida.

Finalmente, a todas aquellas personas que, con su apoyo y colaboración, contribuyeron a que esta tesis fuera posible.

DEDICATORIA

A Dios, por la vida, la salud y la sabiduría que me han permitido alcanzar una meta más en mi camino de preparación.

A mis queridos padres, Alipio Siller Rojas y Francisca Pérez Ceja por su inmenso amor y sacrificios a lo largo de mi vida y formación profesional.

A mi adorada abuelita, Consolación Siller González por su infinito cariño y cuidados.

A mi hermano, Eleazar Siller Pérez y a su familia, por los momentos de ánimo compartidos. A mis queridas sobrinas Eloísa y Elizabeth, por ser una fuente de luz para mí.

A mi prima Yesly Cazares, por reencontrarnos y construir una sincera amistad más allá del lazo familiar, por darme su mano cuando más lo necesité.

A mis amigos, por su constante apoyo, por sus palabras de aliento en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada pequeño logro. En especial a Fernanda, Perla, Bianca, Yazel, Alondra, Emilio y Eddaliz: gracias por hacerme sentir parte de su familia; su calidez hizo que este trayecto fuera más ligero y lleno de afecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE CUADROS	XIV
ÍNDICE DE ANEXOS	XVIII
RESUMEN	XXI
ABSTRACT	XXII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Hipótesis	2
1.1.1 Hipótesis general	2
1.1.2 Hipótesis específicas:	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos:	2
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Origen	4
2.2 Distribución de <i>A. Gentryi</i>	4
2.3 Taxonomía.....	5
2.4 Descripción botánica.....	6
2.5 Rol Ecológico del Agave	10
2.6 Importancia de la producción de Agave	11
2.7 Usos del Agave	12
2.8 Factores de manejo que afectan la producción de Agave.....	15
2.9 Factores abióticos de la Producción de Agave	20
2.10 Sustratos y Materia orgánica.....	21
2.10.1 Suelo de Bosque (pino-encino)	23
2.10.2 Suelo Agrícola	23
2.10.3 Estiércol Caprino.....	23
3. MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1 Localización del experimento	25
3.2 Material Vegetal	26
3.3 Fertilizante orgánico.....	26
3.4 Tratamientos	26

3.5 Diseño experimental	27
3.6 Preparación de sustratos	28
3.6.1 Suelo de bosque (S. B.)	28
3.6.2 Suelo agrícola	28
3.6.3 Estiércol Caprino (E. C.).....	28
3.7 Análisis de sustratos y suelo	29
3.8 Trasplante	30
3.9 Riego.....	32
3.9.1 Aplicación de Fertilizante Orgánico	34
3.9.2 Análisis de agua	35
3.10 Variables evaluadas	36
3.10.1 Variables morfométricas	36
3.10.2 Temperatura	37
3.10.3 Grados brix	39
3.10.4 Color.....	40
3.10.5 Materia fresca y seca	41
3.10.6 Porcentaje de cenizas y materia orgánica de la parte aérea de la planta.	42
3.10.7 Concentración nutrimental de tejido foliar	43
3.11 Plagas y enfermedades.....	44
3.12 Análisis estadístico.....	47
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
4.1 Análisis de sustratos al inicio del experimento	48
4.2 Análisis del de sustratos al final del experimento	50
4.3 Análisis de agua	53
4.4 Análisis estadístico de las variables morfométricas	54
4.4.1 Comparación de medias para la variable crecimiento	54
4.5 Grados brix	56
4.6 Color	58
4. 7 Altura de planta	63
4.8 Materia fresca y seca	64
4.8.1 Peso fresco de la parte aérea de la planta	64
4.8.2 Peso seco de la parte aérea de la planta.....	66
4.8.3 Materia orgánica en la parte aérea de la planta	67

4.8.4 Porcentaje de materia seca de la parte aérea	70
4.8.5 Porcentaje de cenizas de la parte aérea de la planta	72
4.8.6 Longitud de raíz	73
4.8.7 Peso fresco de raíz	76
4.8.8 Peso seco de raíz	78
4.8.9 Porcentaje de materia seca de la raíz	80
4.9 Análisis de tejido foliar.....	82
4.10 Horas calor acumuladas (HCA).....	89
4.10.1 Comparación de Horas Calor Acumuladas (HCA) y crecimiento entre las localidades.	89
4.10.2 Correlaciones de Horas Calor Acumuladas (HCA) con crecimiento en la localidad S. J. de Soto	90
4.10.3 Correlaciones de Horas Calor Acumuladas (HCA) con crecimiento en la localidad Escobedo	91
5. CONCLUSIONES	93
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
7. ANEXOS.....	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Descripción	Núm.
1.	Distribución del Maguey verde (<i>Agave Gentryi</i>). Nota: El color verde intenso corresponde a los agaves nativos y el verde claro a los endémicos (<i>Agave Gentryi</i> , B. Ullrich eFloraMex - Flora de México en línea, 2016)	5
2.	Tipos de escapo floral del agave. Inflorescencia paniculada (A); Inflorescencia espigada (B) (Medina-Galván, 2014)	7
3.	Descripción de las estructuras de la inflorescencia del Agave. Estructuras del fruto aun en la panícula (A); Frutos verdes (B); Frutos secos (C); Semillas de <i>A. Gentryi</i> en Nuevo León (D) (Sánchez- Morales, 2021).	8
4.	Tipos de reproducción del Agave. <i>A. americana</i> con reproducción por bulbillos en el escapo floral, fotografía tomada en Mina N.L (A); B. <i>A. desmettiana</i> con reproducción por hijuelos e inflorescencia a pesar de haber cortado el escapo floral, fotografía tomada en Jalisco por Dr. Liberato Portillo (B); <i>A. salmiana</i> con ciclo vegetativo concluido, que vuelve a emerger con un escapo floral como último esfuerzo de supervivencia, fotografía tomada en San Joaquín de Soto N.L. (C).	9
5.	Interacciones ecológicas del Agave en sistemas agroforestales. Inflorescencia proveyendo recursos energéticos a aves y especies melíferas como murciélagos (A y B) Refugio para reptiles (C, D); que ayudan en el control de plagas (E); (Torres-García <i>et al.</i> , 2019).	11
6.	Estadísticas de producción de tequila en México (CRT,2025).	12
7.	Bagazo de agave como alimento para ganado.	16
8.	Destiladora de mezcal “Guadalupe Ramírez González”. Entrada a la fábrica, con su respectivo rotulo (A); Alambique y recipientes fermentadores de madera (B). Localidad La Canoa, Aramberri, N.L.	17

9.	Destiladora “La Cannoa”.	17
10.	Herramientas para la elaboración del mezcal. Extracción de aguamiel con “acocote”(A); Pozo para cocción de piñas (B); Prensa y molidor para piñas(C); Tambo fermentador de madera (D).	18
11.	Métodos del compostaje (Lavado <i>et al.</i> , 2012).	24
12.	Localización del área experimental.	25
13.	Instalaciones y producción de plántulas. Vivero en San Joaquín de Soto (A); semilla germinada por Elsa Luna Flores en el mismo ejido; proyecto financiado por Bat Conservation International (B).	26
14.	Sustratos utilizados. a) S. B.). b) Suelo agrícola. c) 30% E. C. - 70% S.B. y d) 60% E. C. -40% S. B.	29
15.	Proceso del trasplante primera etapa.	31
16.	Proceso del trasplante segunda etapa.	31
17.	Medición de retención de humedad.	32
18.	Aplicación del fertilizante orgánico en el riego.	34
19.	Mediciones de variables morfométricas. A) Dimensiones del largo, ancho y grosor; B) diámetro de la roseta, y número de hojas.	36
20.	Vernier.	36
21.	Termómetro.	38
22.	Refractómetro ATC.	39
23.	Proceso de la toma de muestra.	39
24.	Árbol de Munsell (Pérez <i>et al.</i> , 2008).	40
25.	Procesamiento de las muestras para obtención de Materia fresca y seca.	41
26.	Proceso de determinación de cenizas.	42
27.	Proceso para la determinación de nutrimentos en tejido foliar. A) Extracción de minerales, B) Destilación para obtención de N, C) Determinación de P y D)Determinación de K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, y Cu.	43

28.	Daños ocasionados por plaga en la localidad S. J de Soto. A) Planta con daños en hoja. B) Aplicación del producto malatión directamente sobre las plantas.	44
29.	Plantas removidas del experimento. A) Unidad experimental Núm. 31 y B) Unidad experimental Núm. 22.	45
30.	Procesamiento de la muestra en laboratorio. A) Material en campana de flujo laminar y B) Cultivo del hongo en caja Petri	46
31.	Incremento de altura.	55
32.	Incremento de roseta.	55
33.	Incremento No. de Hojas.	55
34.	Referencia a los tonos de color en hojas de plantas A) Localidad Escobedo y B) Localidad S.J. de Soto.	62
35.	Referencia de las cartas Munsell utilizadas A) Carta 2.5 GY B) Carta 7.5 GY.	62
36.	Referencia al peso fresco de la parte aérea de la planta.	65
37.	Referencia al peso seco de la parte aérea de la planta.	67
38.	Plantas que muestran el largo y el desarrollo lateral de las raíces A) Planta localidad S.J de Soto, B) Planta localidad Escobedo.	75
39.	Registro del peso fresco de raíz.	77
40.	Muestras de raíces y registro del peso seco de raíz.	80
41.	Horas Calor Acumuladas (HCA) por periodo de medición para ambas localidades de junio 2023 a enero 2024.	89

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Descripción	Pág.
1.	Importancia social y usos diversos del maguey en la República Mexicana (Esparza <i>et al.</i> , 2015).	13
2.	Relación C/N de diferentes tipos de Materia orgánica (Heal <i>et al.</i> , 1997).	23
3.	Descripción de los tratamientos de acuerdo con el volumen de cada sustrato. 1. Suelo de bosque 2. Suelo agrícola 3. Estiércol de Cabra	27
4.	Croquis del acomodo de unidades experimentales en campo para ambas localidades.	28
5.	Calendario de riegos aplicados.	33
6.	Fechas de aplicación del fertilizante.	34
7.	Métodos y fórmulas para la determinación del análisis de agua.	35
8.	Temperaturas promedio mínimas y máximas por mes y grados días acumulados en el periodo de medición abril 2023- marzo 2024.	38
9.	Fechas de aplicación del plaguicida y plantas afectadas.	44
10.	Análisis de sustratos al inicio del experimento.	48
11.	Análisis de suelo agrícola al inicio del experimento.	49
12.	Análisis de sustratos al final del experimento localidad S. J. de Soto.	50
13.	Análisis de sustratos al final del experimento localidad Escobedo.	51
14.	Análisis de suelo agrícola al final del experimento para ambas localidades.	52
15.	Análisis de agua para ambas localidades.	53
16.	Análisis de varianza de incrementos en crecimiento para variables agronómicas de ambas localidades.	54
17.	Análisis de varianza para grados brix en la piña de la planta.	56
18.	Comparación de medias de localidades para grados brix.	56
19.	Comparación de medias de tratamientos para grados brix.	57

20.	Frecuencias observadas de color de hojas por localidad.	58
21.	Prueba de ji-cuadrada para localidad x color.	59
22.	Frecuencias observadas de color de hojas por tratamiento en la localidad S. J de Soto.	60
23.	Prueba ji-cuadrada para determinar frecuencias de color para tratamientos de la localidad S.J de Soto.	60
24.	Frecuencias observadas de color de hojas por tratamiento en la localidad Escobedo.	61
25.	Prueba ji-cuadrada para determinar frecuencias de color para tratamientos de la localidad Escobedo.	62
26.	Análisis de varianza para altura de planta.	63
27.	Comparación de medias de localidades de altura de planta.	63
28.	Comparación de medias de tratamientos de altura de planta.	64
29.	Análisis de varianza del peso fresco de la planta aérea de la planta.	64
30.	Comparación de medias de localidades de los pesos frescos de la planta.	65
31.	Comparación de medias de tratamientos de peso fresco de la parte aérea de la planta.	65
32.	Análisis de varianza del peso seco parte aérea de la planta.	66
33.	Comparación de medias de localidades de los pesos secos parte aérea de la planta.	66
34.	Comparación de medias de tratamientos de pesos secos parte aérea de la planta.	67
35.	Análisis de varianza para porcentaje de materia orgánica en la parte aérea de la planta.	68
36.	Comparación de medias de localidades del porcentaje de materia orgánica en la parte aérea de la planta.	68
37.	Comparación de medias de tratamientos de porcentaje de materia orgánica en la parte aérea de la planta.	68

38.	Comparación de medias para porcentaje de materia orgánica de la parte aérea de la planta con interacción tratamiento por localidad.	69
39.	Análisis de varianza para porcentaje de materia seca de la parte aérea de la planta.	70
40.	Comparación de medias de localidades de porcentaje de materia seca de la parte aérea de la planta.	70
41.	Comparación de medias de tratamientos de porcentaje de materia seca de la parte aérea de la planta.	71
42.	Comparación de medias para porcentaje de materia seca de la parte aérea de la planta con interacción tratamiento por localidad.	71
43.	Análisis de varianza para porcentaje de cenizas del tejido aéreo.	72
44.	Comparación de medias de localidades para porcentaje de cenizas.	72
45.	Comparación de medias de tratamientos para porcentaje de cenizas.	72
46.	Comparación de medias para cenizas de la planta con interacción tratamiento por localidad.	73
47.	Análisis de varianza para longitud de raíz de la planta.	74
48.	Comparación de medias de localidades de la longitud de raíz de la planta.	74
49.	Comparación de medias de tratamientos de longitud de raíz de planta.	76
50.	Análisis de varianza para el peso fresco de raíz de planta.	76
51.	Comparación de medias de localidades de los pesos frescos de la raíz de planta.	77
52.	Comparación de medias de tratamientos de los pesos frescos de la raíz de planta.	77
53.	Comparación de medias de peso fresco de raíz con interacción tratamiento por localidad.	78
54.	Análisis de varianza para el peso seco de raíz de planta.	78

55.	Comparación de medias de localidades de pesos secos de raíz de planta	79
56.	Comparación de medias de tratamientos de pesos secos de raíz de planta.	79
57.	Comparación de medias de peso seco de raíz con interacción tratamiento por localidad.	80
58.	Análisis de varianza para porcentaje de materia seca de raíz.	80
59.	Comparación de medias de localidades del porcentaje de materia seca de raíz.	81
60.	Comparación de medias de tratamientos del porcentaje de materia seca de raíz.	81
61.	Comparación de medias de macro y microelementos del análisis foliar de <i>Agave gentryi</i> L. por tratamiento	88
62.	Comparación de medias de macro y microelementos del análisis foliar de <i>Agave gentryi</i> L por localidad.	88
63.	Comparación de medias de macro y microelementos del análisis foliar de <i>Agave gentryi</i> L con interacción tratamiento por localidad.	88
64.	Resultados del análisis de varianza para ambas localidades en incrementos de altura, roseta y número de hojas	90
65.	Análisis de correlaciones para incrementos de altura (IncAlt), roseta (IncRos), y número de hojas (IncNoHojas) con acumulación de horas calor en la localidad S.J. de Soto.	91
66.	Análisis de correlaciones para incrementos de altura (IncAlt), roseta (IncRos), y número de hojas (IncNoHojas) con acumulación de horas calor en la localidad Escobedo.	92

ÍNDICE DE ANEXOS

Cuadro	Descripción	Núm.
1A.	Entrevistas a productores de mezcal de la comunidad La Canoa, Aramberri, N.L. septiembre 2021.	105
2A.	Análisis de varianza del contenido de nitrógeno.	106
3A.	Comparación de medias de localidades del contenido de nitrógeno.	106
4A.	Comparación de medias de tratamientos del contenido de nitrógeno.	106
5A.	Análisis de varianza del contenido de fosforo.	107
6A.	Análisis de varianza del contenido de potasio.	107
7A.	Comparación de medias de localidades del contenido de potasio.	107
8A.	Comparación de medias de tratamientos del contenido de potasio.	107
9A.	Comparación de medias del contenido de potasio con interacción tratamiento por localidad.	108
10A.	Análisis de varianza del contenido de calcio.	108
11A.	Comparación de medias de localidades del contenido de calcio.	108
12A.	Comparación de medias de tratamientos del contenido de calcio.	109
13A.	Análisis de varianza del contenido de magnesio.	109
14A.	Comparación de medias de localidades del contenido de magnesio.	109
15A.	Comparación de medias de tratamientos del contenido de magnesio.	109
16A.	Análisis de varianza del contenido de fierro.	110
17A.	Comparación de medias de localidades del contenido de fierro.	110
18A.	Comparación de medias de tratamientos del contenido de fierro.	110

19A.	Comparación de medias del contenido de fierro con interacción tratamiento por localidad.	111
20A.	Análisis de varianza del contenido de cobre.	111
21A.	Comparación de medias de localidades del contenido de cobre.	112
22A.	Comparación de medias de tratamientos del contenido de cobre.	112
23A.	Análisis de varianza del contenido de zinc.	112
24A.	Comparación de medias de localidades del contenido de zinc.	113
25A.	Comparación de medias de tratamientos del contenido de zinc.	113
26A.	Análisis de varianza del contenido de manganeso.	113
27A.	Comparación de medias de localidades del contenido de manganeso.	114
28A.	Comparación de medias de tratamientos del contenido de manganeso.	114
29A.	Comparación de medias del contenido de manganeso con interacción tratamiento por localidad.	114
30A.	Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes abril 2023 en ambas localidades.	115
31A.	Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes mayo 2023 en ambas localidades.	116
32A.	Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes junio 2023 en ambas localidades.	117
33A.	Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes julio 2023 en ambas localidades.	118
34A.	Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes agosto 2023 en ambas localidades.	119
35A.	Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes septiembre 2023 en ambas localidades.	120
36A.	Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes octubre 2023 en ambas localidades.	121

37A.	Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes noviembre 2023 en ambas localidades.	122
38A.	Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes diciembre 2023 en ambas localidades.	123
39A.	Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes enero 2024 en ambas localidades.	124
40A.	Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes febrero 2024 en ambas localidades.	125
41A.	Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes marzo 2024 en ambas localidades.	126

RESUMEN

El agave, también conocido como maguey, cumple una función esencial en términos ecológicos, socioculturales y económicos. En el sur de Nuevo León, la explotación continua del maguey es la principal fuente de ingresos para muchas familias, sin embargo, ha tenido un impacto negativo en la densidad de plantas silvestres. Dado el lento crecimiento del maguey, esta investigación busca desarrollar estrategias para estimular el crecimiento de las plántulas en periodos de tiempo más cortos. Fueron establecidos ocho tratamientos en dos localidades (Escobedo y Aramberri, N.L.) utilizando diferentes sustratos y un fertilizante orgánico. El diseño experimental fue completamente al azar. Las variables incluyeron altura de la planta, dimensiones de las hojas, diámetro de la roseta, número total de hojas, temperatura (acumulación de horas calor) grados brix, color, materia seca y fresca, análisis foliar y concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Cu y Zn en los sustratos. El tratamiento suelo de bosque fue superior en la variable crecimiento, con una mayor altura de plántula, diámetro de roseta y número de hojas. La localidad de Escobedo mostró los resultados más destacados, atribuidos a la acumulación de horas calor en dicha localidad. Los tratamientos con estiércol de cabra no mostraron un crecimiento sobresaliente en las plántulas, pero sí presentaron una mayor concentración de K y Mg. El fertilizante orgánico no impactó significativamente el crecimiento de raíces ni el general de la planta.

Palabras clave. maguey, densidad de plantas, crecimiento, raíz.

ABSTRACT

Agave, also known as “maguey,” plays an ecological, socio-cultural, and economic role. In southern Nuevo León, the continuous exploitation of maguey is the main source of income for many families; however, it has negatively impacted the density of wild populations. Due to the slow growth of maguey, this study aims to develop strategies to stimulate seedling development within shorter timeframes. Eight treatments were established at two sites (Escobedo and Aramberri, N.L.) using different substrates and organic fertilizer. The experimental design was completely randomized. Variables measured included plant height, leaf dimensions, rosette diameter, total number of leaves, temperature (as accumulated heat hours), Brix degrees, color, fresh and dry biomass, foliar nutrient analysis, and substrate concentrations of N, P, K, Ca, Mg, Cu, and Zn. The forest soil treatment resulted in superior growth, with greater seedling height, rosette diameter, and leaf number. The Escobedo site showed the most prominent results, attributed to higher accumulation of heat hours. Although the goat manure treatments did not lead to notable seedling growth, they showed higher foliar concentrations of K and Mg. The organic fertilizer did not significantly affect root or overall plant growth.

Keywords: maguey, plant density, growth, root.

1. INTRODUCCIÓN

El agave, también llamado “maguey” es una especie de importancia ecológica, sociocultural y económica, por lo que ha sido objeto de estudio a través de varios siglos. En 1753 Linneo lo describió bajo un mismo género al que dio el nombre de *Agave*, esta palabra en griego quiere decir noble, ilustre, admirable (Scheinvar, 2017).

Desde la era prehispánica el maguey ha ofrecido una amplia variedad de productos y beneficios al ser humano; esta planta es usada principalmente para la elaboración de tequila, mezcal, aguamiel, pulque, obtención de fibras textiles, forraje y por sus propiedades medicinales, también se usa en farmacéutica (Trejo *et al.*, 2023).

Sin embargo, el uso intensivo del maguey como fuente de ingresos para muchas familias ha tenido un impacto considerable en la sostenibilidad de este cultivo, especialmente en algunas comunidades del sur del estado de Nuevo León. A lo largo de los años, esta práctica ha llevado al agotamiento de los recursos, lo que ha generado serias consecuencias para el ecosistema local y la viabilidad a largo plazo del maguey.

El aprovechamiento de las plantas para la elaboración de mezcal requiere que se corten antes de que aparezca el escapo floral (quiote), por lo que en estas plantas no hay producción de semilla, teniendo como consecuencia que la densidad de plantas silvestres se vea afectada. Esta práctica limita la producción de nuevas plantas a partir de semillas, favoreciendo la reproducción asexual mediante hijuelos o clones, lo que disminuye la variabilidad genética y aumenta la vulnerabilidad a enfermedades.

El largo tiempo que tardan las plantas de agave en florecer (llegando incluso hasta más de 30 años) afecta directamente a las especies polinizadoras, como el murciélago nectarívoro *Leptonycteris nivalis*, actualmente con amenaza de peligro de extinción (Olivera-Triste *et al.*, 2025).

En este contexto, el propósito de esta investigación fue desarrollar estrategias para acelerar el crecimiento de plántulas de maguey, generadas a partir de semilla, utilizando materiales orgánicos. Esta alternativa se presenta como una manera efectiva de reducir los tiempos de trasplante a campo, y mejorar la diversidad genética al reproducir plantas provenientes de semilla.

1.1 Hipótesis

1.1.1 Hipótesis general

La materia orgánica promueve el crecimiento de las plantas a través del tiempo, por lo tanto, los sustratos orgánicos combinados con un fertilizante orgánico inducen un mayor crecimiento de plántulas de maguey en ambientes contrastantes.

1.1.2 Hipótesis específicas:

1. La combinación de diferentes fuentes de materia orgánica mejora la productividad del maguey por lo tanto la combinación de suelo de bosque y estiércoles de animales mejoran el crecimiento.
2. A mayor acumulación de horas calor los cultivos incrementan su crecimiento, por lo tanto, las zonas donde se produzcan mayor acumulación de horas calor se tendrán plantas con mayor crecimiento.
3. Los fertilizantes orgánicos pueden promover un mayor crecimiento de raíz y una mayor acumulación de nutrientes esenciales en las plántulas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Evaluar diferentes sustratos y un fertilizante orgánico en el crecimiento de plántulas de maguey, que estimulen su crecimiento con el fin de obtener plantas más vigorosas.

1.2.2 Objetivos específicos:

1. Analizar el efecto de diferentes combinaciones de suelo de bosque (pino-encino) y estiércol caprino, comparados con suelo agrícola en el crecimiento de maguey.

2. Estimar la influencia de la temperatura de localidades con contrastes climáticos, considerando acumulación de horas calor, en el crecimiento de plántulas de maguey.

3. Cuantificar el crecimiento radicular de las plántulas de maguey en respuesta a la aplicación de un fertilizante orgánico y diferentes sustratos.

4. Cuantificar y contrastar los sustratos en cuanto a la concentración nutrimental en las hojas de las plántulas de maguey.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Origen

El origen del agave se encuentra en Mesoamérica, donde se ha dado la mayor diversificación de este género. La distribución natural del agave se extiende desde el sur de los Estados Unidos hasta Colombia y Venezuela, incluyendo las islas del Caribe. El uso de los agaves por los humanos en esta región tiene una historia que se remonta a miles de años y ha sido muy variado, incluyendo su uso para la alimentación, como fuente de fibra y para elaborar bebidas. La domesticación del agave fue un proceso gradual en el que las poblaciones mesoamericanas seleccionaron plantas con características deseables para su cultivo (Gentry, 1982).

El género *Agave* comprende más de 220 especies, de las cuales 159 se distribuyen en territorio mexicano. México no solo representa el centro de origen del género, sino que también constituye el principal país en cuanto al aprovechamiento y manejo de sus especies (Eguiarte *et al.*, 2021).

En el contexto de esta amplia diversidad, destaca *Agave gentryi* L., una especie de particular relevancia ecológica y económica en el noreste de México.

2.2 Distribución de *A. Gentryi*

El agave al ser una planta perenne se distribuye ampliamente en el territorio mexicano, encontrándose en diferentes tipos de vegetación como bosque de *Pinus-Quercus*, bosque tropical caducifolio, y el matorral xerófilo, pudiendo encontrarse desde altitudes de 3000 m hasta el nivel del mar, lo que le permite adaptarse a diversas condiciones climáticas dentro del país (García-Mendoza, 2004).

Según González (2005), la distribución de *Agave gentryi* abarca los estados de Nuevo León, Coahuila, Tamaulipas, Hidalgo y Querétaro, con un período de floración que se extiende de abril a septiembre y fructificación entre septiembre y octubre. Sin embargo, Villaseñor (2016) incluye en su distribución, también a los estados de Durango y San Luis Potosí (Figura 1).



Figura 1. Distribución del Maguey verde (*Agave Gentryi*). Nota: El color verde intenso corresponde a los agaves nativos y el verde claro a los endémicos (*Agave Gentryi* B. Ullrich eFloraMex - Flora de México en línea, 2016).

2.3 Taxonomía

La taxonomía del agave ha sido un tema de debate desde que Linneo lo describió en 1753. El género *Agave* se integra en la familia *Asparagaceae*, específicamente en la subfamilia *Agavoideae*. Históricamente, su clasificación lo situaba en la familia *Agavaceae*; no obstante, la taxonomía moderna del agave integra datos de morfología, filogenia molecular, bioquímica y ecología que han respaldado su inclusión en *Asparagaceae* (Angiosperm Phylogeny Group, 2009; Thiede & Govaerts, 2017).

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Asparagales

Familia: Asparagaceae

Subfamilia: Agavoideae

Género: *Agave*

Especie: *A. Gentryi* B. Ullrich

2.4 Descripción botánica

El agave es una planta suculenta que se caracteriza por ser una roseta perenne, lo que significa que puede pasar muchos años en su etapa vegetativa antes de florecer. La roseta de hojas es la estructura principal de la planta (Gentry, 1982).

Entre los caracteres morfológicos clave del agave se incluyen la presencia y disposición de espinas y dientes en las hojas, el indumento foliar (presencia de pelos o escamas), el tipo de inflorescencia, la coloración de las flores, así como la forma y tamaño de frutos y semillas. Además, el hábito de crecimiento, como la capacidad de formar rizomas o brotes, constituye un rasgo distintivo en la clasificación del género (Gentry, 1982).

La morfología del agave es altamente variable entre especies, por lo que su clasificación taxonómica se basa en un enfoque integral que combina el análisis de caracteres morfológicos con estudios de filogenia molecular, bioquímica y ecología (Gentry, 1982).

Hojas: Las hojas del agave se caracterizan por su morfología gruesa, carnosa y con forma ensiforme. Su tamaño, forma y número varían según la especie y las características del medio ambiente; algunas presentan hojas alargadas y delgadas, mientras que otras poseen hojas más cortas y anchas. La coloración foliar puede abarcar tonalidades de verde, gris o azul, y en muchos casos, los márgenes y el ápice de las hojas están provistos de espinas. La disposición de las hojas sigue un patrón espiralado alrededor del tallo, y su morfología, incluyendo la forma de los márgenes y la distribución de las espinas, constituye un rasgo distintivo para la identificación taxonómica. Además, al tener una cutícula gruesa contribuye a la reducción de la pérdida de agua, favoreciendo la adaptación de la planta en ambientes adversos (Gentry, 1982).

Tallo: El tallo es de corta estructura y robusta, y se encuentra recubierto por la base de las hojas. Su composición presenta un alto porcentaje de tejido parenquimático, especializado en el almacenamiento de agua y nutrientes, lo que favorece la adaptación de la planta a condiciones de aridez (Gentry, 1982).

Inflorescencia: Esta planta es monocárpica, lo que indica que florece una sola vez en su vida. Durante este evento, la planta utiliza todas sus reservas de energía almacenadas en el tallo para producir las estructuras florales, lo que finalmente lleva a su muerte. La inflorescencia del agave es una estructura que emerge desde el centro de la roseta foliar y puede alcanzar varios metros de altura. Su morfología varía según el subgénero y la sección a la que pertenece la especie, presentando formas espiciformes (Figura 2B), racemosas, paniculadas (Figura 2A) o umbeladas. Las flores son hermafroditas, con la presencia simultánea de órganos reproductivos masculinos (estambres) y femeninos (pistilo). La coloración floral abarca tonalidades, amarillas, verdes o rojizas, con variaciones en forma y tamaño. La estructura floral es un rasgo clave en la clasificación taxonómica del género *Agave*, considerando características como el perianto, el tubo floral, las anteras, el ovario y la coloración de las flores para la identificación (Gentry, 1982).

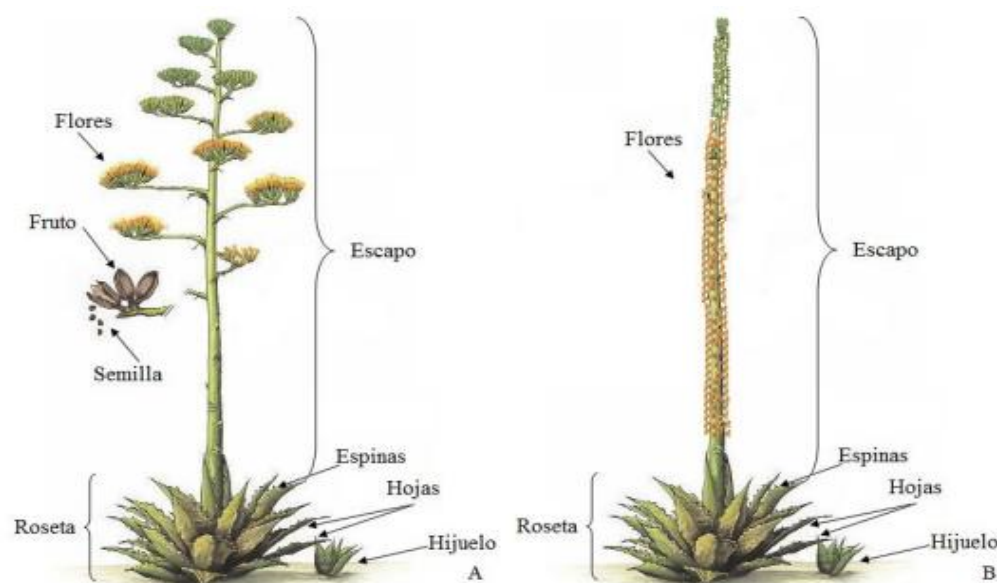


Figura 2. Tipos de escapo floral del agave. Inflorescencia paniculada (A); Inflorescencia espigada (B) (Medina-Galván, 2014).

Frutos y Semillas: Los frutos del agave son cápsulas que albergan un gran número de semillas. Su morfología y dimensiones varían según la especie, presentando diferentes formas y tamaños. Las semillas, por lo general, son

pequeñas, planas y de color negro, con una estructura que favorece su dispersión “anemocoria” por medio del viento (Figura 3.) (Gentry, 1982).



Figura 3. Descripción de las estructuras de la inflorescencia del Agave. Estructuras del fruto aun en la panícula (A); Frutos verdes (B); Frutos secos (C); Semillas de *A. Gentryi* en Nuevo León (D) (Sánchez- Morales, 2021).

Raíces: Las raíces del agave son de tipo fibroso y se extienden en el subsuelo, formando un sistema radicular adaptado a la absorción eficiente de agua y nutrientes. Esta estructura contribuye al anclaje de la planta y facilita su supervivencia en ambientes con disponibilidad limitada de recursos hídricos (Gentry, 1982).

Reproducción: Los agaves pueden reproducirse tanto sexualmente, a través de semillas, como asexualmente, mediante brotes, bulbillos y rizomas, lo que da lugar a clones genéticamente idénticos a la planta original (Figura 4).

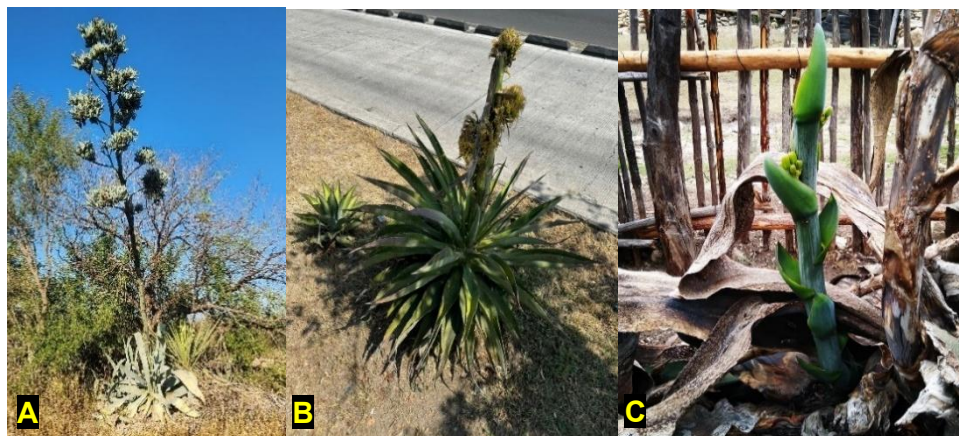


Figura 4. Tipos de reproducción del Agave. *A. americana* con reproducción por bulbillos en el escapo floral, fotografía tomada en Mina N.L (A); *A. desmettiana* con reproducción por hijuelos e inflorescencia a pesar de haber cortado el escapo floral, fotografía tomada en Jalisco por Dr. Liberato Portillo (B); *A. salmiana* con ciclo vegetativo concluido, que vuelve a emerger con un escapo floral como último esfuerzo de supervivencia, fotografía tomada en San Joaquín de Soto N.L. (C).

Polinización: El proceso de polinización es fundamental para la generación de nuevas plantas del agave, impactando directamente su diversidad genética y supervivencia. Este proceso depende de una variedad de polinizadores, entre los que destacan los murciélagos nectarívoros del género *Leptonycteris*, especialmente importantes en especies como *Agave cupreata*, que dependen exclusivamente de la polinización cruzada. También participan aves e insectos, como abejas, en una relación mutualista donde el agave ofrece néctar a cambio de la dispersión de polen. Sin embargo, factores como la destrucción de hábitats naturales, el uso de agroquímicos y la expansión de monocultivos de agave amenazan la diversidad de polinizadores, limitando la polinización cruzada y reduciendo la variabilidad genética (Torres-García *et al.*, 2019).

2.5 Rol Ecológico del Agave

El género *Agave* desempeña una función ecológica fundamental en los ecosistemas mexicanos, donde sus especies son reconocidas por su carácter multifuncional dentro de sistemas agroforestales, contribuyendo a la estabilidad ecológica, la conservación del suelo y la provisión de recursos para diversas interacciones bióticas (Torres-García *et al.*, 2019).

Diversos estudios destacan aspectos clave del papel ecológico del género *Agave* en los ecosistemas. Su adaptación al entorno es particularmente notable, ya que presenta un metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), lo que le permite optimizar la captación de carbono al realizar la fotosíntesis durante la noche y minimizar la transpiración. Además, su capacidad de almacenamiento hídrico en los tejidos le confiere un aprovechamiento eficiente del agua, característica esencial para adaptarse en zonas áridas (Davis *et al.*, 2023).

El *Agave* sustenta una amplia red de interacciones bióticas al proporcionar recursos para la fauna (Figura 5). Durante su floración, sus inflorescencias proveen recursos energéticos a especies melíferas como las abejas, así como a aves y murciélagos nectarívoros (Figura 5, A y B), los cuales no solo favorecen la reproducción de *Agave*, sino que también contribuyen a la polinización y fructificación de otras especies vegetales clave en el sistema (Torres-García *et al.*, 2019). Asimismo, su estructura ofrece refugio a diversas especies, incluidos reptiles (Figura 5 C y D) con funciones en el control biológico de plagas (Figura 5 E), mientras que los quiotes (tallos florales) sirven como sitios de anidación para aves y otros organismos (Davis *et al.*, 2023; Gentry, 1982).

El agave juega contribuye de manera significativa en los ecosistemas y en las culturas humanas de México y otras regiones áridas. La diversidad de usos y la importancia ecológica del agave demuestran la necesidad de implementar estrategias para su conservación y uso sostenible, considerando tanto el conocimiento tradicional como las prácticas agrícolas modernas (Davis *et al.*, 2023).

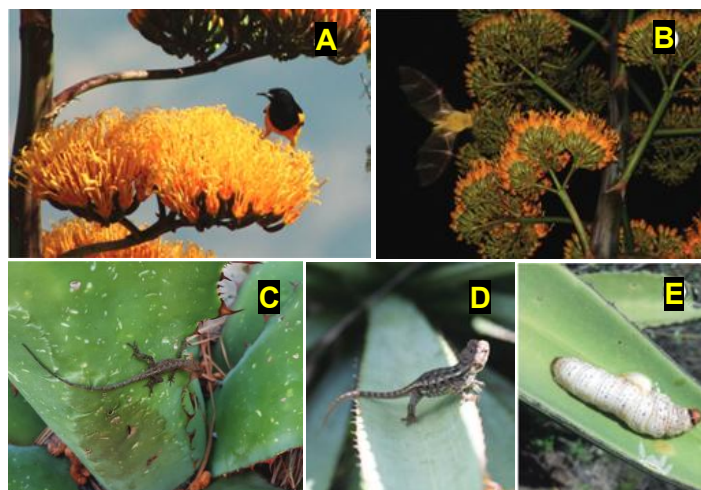


Figura 5. Interacciones ecológicas del Agave en sistemas agroforestales. Inflorescencia proveyendo recursos energéticos a aves y especies melíferas como murciélagos (A y B) Refugio para reptiles (C, D); que ayudan en el control de plagas (E); (Torres-García *et al.*, 2019).

2.6 Importancia de la producción de Agave

El agave se ha consolidado como uno de los cultivos ancestrales más relevantes de México, con un impacto significativo en la cultura y la economía del país (Arellano-Perusquía *et al.*, 2019).

Esta planta constituye la materia prima esencial para la fabricación de destilados como el tequila y el mezcal, cuya demanda ha crecido significativamente a nivel nacional e internacional (López, 2022). De acuerdo con el Consejo Regulador del Tequila (CRT, 2025), la producción total de tequila en México aumentó de 228.5 millones de litros en 2015 a un máximo de 651.4 millones de litros en 2022, lo que representa un incremento del 185%. Aunque se proyecta una ligera disminución para 2024, la alta demanda ha intensificado la necesidad de Agave, promoviendo la expansión de su cultivo. Esta situación plantea desafíos críticos, ya que la expansión del agave está provocando el desplazamiento de otros cultivos, lo que ya está teniendo implicaciones ambientales y socioeconómicas en las regiones productoras (Figura 6).

La producción de Agave mantiene una estrecha relación con las tradiciones culturales y la identidad de diversas comunidades indígenas en México la elaboración de destilados, como el mezcal, representa una actividad esencial en la economía rural, en la cual pequeños productores emplean métodos tradicionales que han sido transmitidos intergeneracionalmente. No obstante, la expansión intensiva del cultivo ha derivado en conflictos socioambientales, entre los que destacan el deterioro de la biodiversidad y el desplazamiento de cultivos tradicionales, lo que compromete la resiliencia de los sistemas agroecológicos locales (López, 2022).

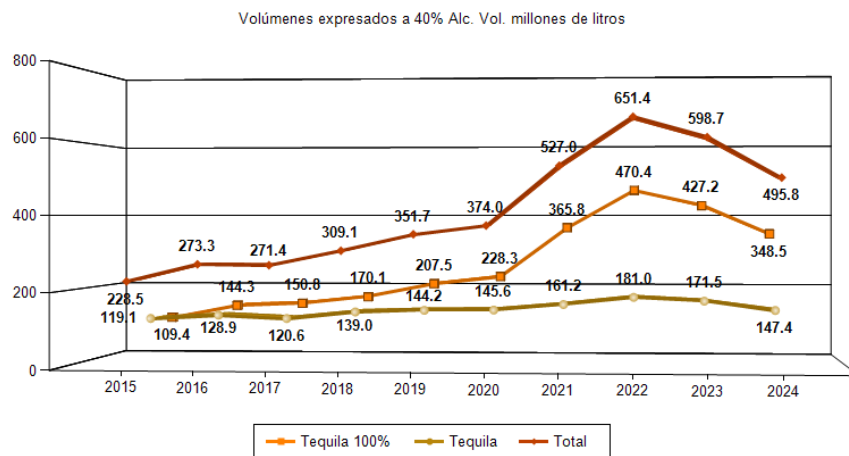


Figura 6. Estadísticas de producción de tequila en México (CRT, 2025).

2.7 Usos del Agave

Con base en sus principales aplicaciones, los magueyes se clasifican en tres categorías: especies de uso textil, pulquero y mezcalero. La savia de estas plantas se utiliza esencialmente para la producción de bebidas, las cuales se dividen en dos tipos: aquellas que se consumen de forma fresca, como el aguamiel, o fermentadas, como el pulque; y aquellas que requieren un proceso de destilación, como el mezcal y el tequila (González Álvarez, 2005).

De acuerdo con diversas descripciones de Esparza *et al.* (2015), el Agave presenta más de 100 aplicaciones documentadas (Cuadro 1), con al menos 70 formas de uso reportadas en la actualidad.

Cuadro 1. Importancia social y usos diversos del maguey en la República Mexicana (Esparza *et al.*, 2015).

BEBIDAS	
Destino	Partes de la planta
Agua miel	Piña del maguey
Bacanora	Piña del maguey de Sonora
Jarabe	Agua miel concentrada
Pulque	Agua miel fermentada
Miel	Agua miel concentrada
Vinagre	Agua miel fermentada
Aguardiente	Pulque destilado
Mezcales	Piñas de agave tequilero
Atoles	Agua miel
TEJIDO Y VESTUARIO	
Destino	Partes de la planta
Hilos y tejido	Fibra de la penca
Costales, bolsas y mantas	Pencas
Tapetes, lazos y morrales	Pencas
Sandalias y huipiles	Pencas
Cinchos y hamacas	Pencas
Petates y petacas para tortillas	Pencas
Sombreros y ayates gruesos para carga	Pencas
CONSTRUCCIÓN	
Destino	Partes de la planta
Vigas	Quiote seco

Adobes	Bagazo de la piña
MEDICINAL	
Destino	Partes de la planta
Sífilis, Cáncer, etc.	Diversas partes (agavinas)
Inulina	Jugo de agave (piña)
COMIDA Y CONDIMENTO	
Destino	Partes de la planta
Gusanos blancos	Pencas
Gusanos rojos (chinicuiles)	Raíces
Sal de gusano	Piña
Condimentos para barbacoa	Pulque
Guiso de gualumbo	Flores
Postre	Quiote asado, piña horneada
Azúcar	Agua miel concentrada
Saborizante de tamales y pan	Aguamiel y piña
Mixiotes	Epidermis del meyolote
Guiso de huevito	Corazón del meyolote
Levadura	Residuos del pulque
Condimento	Pulque
Tortillas	Quiote
Mezcal dulce	Penca asada u horneada
Barbacoa	Hoja verde
ORNATO	
Destino	Partes de la planta
Adornos de navidad	Maguey completo
Base para adornos de pluma y oro	Pencas
Fibras para arcos florales	Pencas
Adornos corporales	Semillas
Juguetes para niños	Semillas

Sonajas	Semillas
Tocados para mujer	Fibras del quiote
AGROPECUARIO	
Destino	Partes de la planta
Deslindar terrenos	Planta completa
Formar y proteger terrazas	Planta completa
Cercas protectoras	Planta completa
Abono	Cenizas de penca y piñas secas
Protección contra la erosión	Planta completa
Alimento para aves	Residuos de pulque
USO DOMÉSTICO GENERAL	
Destino	Partes de la planta
Jabón para ropa	Raíces y pencas
Cepillos para lavar	Raíces
Cepillos y escobas	Raíces
Canastas	Raíces
Clavos	Espinas
Aguja con hilo incluido	Púa terminal con fibra
Recipientes para comida	Pencas
Bateas para masa y otros alimentos	Pencas
Recipiente para agua	Piña
Material para cubrir la barbacoa	Pencas
Escobetas	Pencas
Combustible	Pencas y piñas secas
Bancos para sentarse	Mezontete

2.8 Factores de manejo que afectan la producción de Agave

En el estado de Nuevo León la producción de mezcal se manifiesta en dos modalidades principales. La primera corresponde a un proceso semi industrial, ejemplificado por la Destiladora de Mezcal La Chona SA de CV, localizada en la

Congregación La Ascensión, conocida como "La Chona", en el municipio de Aramberri, aunque en la actualidad no está en operaciones. También está la Fábrica de Mezcal "La Guadalupana", situada en el municipio de Bustamante. La segunda modalidad se caracteriza por la producción artesanal o de tipo casero, llevada a cabo en alambiques tradicionales instalados en pequeñas comunidades rurales de municipios como Galeana, Iturbide, Rayones y Santiago, Nuevo León (Alanís-Flores y González-Álvarez, 2011).

En la comunidad de La Canoa, municipio de Aramberri, Nuevo León, la producción de mezcal se sustenta en el cultivo del maguey verde (*Agave gentryi*), también conocido como "quiotillo". De acuerdo con información obtenida mediante encuestas aplicadas a seis productores locales (Cuadro 1A), el aprovechamiento de esta especie se da en diferentes formas, ya que se utiliza para la extracción de aguamiel, la destilación de mezcal y como forraje para el ganado (Figura 7).



Figura 7. Bagazo de agave como alimento para ganado.

La tradición mezcalera en la comunidad La Canoa se ha mantenido por más de 80 años y actualmente existen dos fábricas artesanales dedicadas a la producción (Figura 8 y 9).



Figura 8. Destiladora de mezcal “Guadalupe Ramírez González”. Entrada a la fábrica, con su respectivo rotulo (A); Alambique y recipientes fermentadores de madera (B). Localidad La Canoa, Aramberri, N.L.



Figura 9. Destiladora “La Cannoa” de la localidad La Canoa, Aramberri, N.L.

De acuerdo a la información recopilada de los productores encuestados, el proceso de elaboración del mezcal en esta región se estructura en tres etapas principales, las cuales se detallan a continuación (Figura 10):

1. Cosecha y cocción: Se seleccionan magueyes maduros cuyas piñas son extraídas y cocidas en un pozo con piedras y leña durante tres días, lo que permite la conversión de los carbohidratos en azúcares fermentables.

2. Molienda y fermentación: Las piñas cocidas se muelen para extraer su jugo, el cual se mezcla con aguamiel recolectada y azúcar. Posteriormente, se deja fermentar por un periodo de 8 a 10 días hasta alcanzar una concentración de 7° Brix.

3. Destilación: El mosto fermentado se somete a un proceso de destilación en alambiques, manteniendo un fuego constante durante cuatro días con un consumo de 18 a 20 cargas de leña, donde cada carga equivale a aproximadamente 15 troncos, lo que representa un total de 300 troncos por ciclo de destilación. La fuente principal de combustible utilizada es la leña de pino-encino.

El uso intensivo de este recurso implica una carga significativa sobre las poblaciones arbóreas locales, contribuyendo a la pérdida de cobertura boscosa y al deterioro de los ecosistemas forestales. Estudios recientes, como el realizado por Limas *et al.* (2025), en Tamaulipas, reportan una disminución del 7.7% en la cobertura vegetal entre 2010 y 2020 en comunidades donde la leña es la fuente primaria de combustible para la elaboración de alimentos. Este dato subraya la necesidad de evaluar el impacto ecológico del uso de la leña en la producción artesanal y de explorar alternativas sostenibles que reduzcan la presión sobre los recursos forestales.



Figura 10. Herramientas para la elaboración del mezcal. Extracción de aguamiel con “acocote” (A); Pozo para cocción de piñas (B); Prensa y molidor para piñas (C); Tambo fermentador de madera (D).

La ubicación de las plantas de maguey en la comunidad se encuentra a distancias que varían entre 300 m y 3 km de los domicilios de los productores, lo

que puede incidir en la logística del manejo y cosecha. La edad de las plantas en producción oscila entre los 8 y 20 años, alcanzando su madurez productiva a partir de los 10 años. La floración ocurre entre marzo y agosto. En promedio, los productores manejan entre 95 y 200 magueyes en producción activa de aguamiel, con un rendimiento diario de 0.4 a 1 litro por planta, dependiendo de la curva de producción. El periodo de extracción de aguamiel se extiende entre 4 y 6 meses. El precio del mezcal fluctúa de acuerdo con la presentación que se ofrece a los compradores, siendo entre \$60 y \$150 por litro, con precios más bajos cuando lo comercializan a granel en botellas plásticas de cualquier tipo, mientras que el mezcal con los precios más altos se vende en botellas de vidrio etiquetadas con el nombre comercial del producto.

Un desafío crítico en el sistema de producción de agave es la ausencia de estrategias de repoblación y la práctica generalizada del capado de las plantas, ya que los productores no consideran necesario dejar individuos sin intervenir. Esta explotación intensiva impacta directamente el ciclo reproductivo del agave, restringiendo su regeneración natural a través de semillas y reduciendo la variabilidad genética dentro de las poblaciones.

En la producción de aguamiel, la extracción implica la eliminación del escapo floral antes de que la planta complete su reproducción, mientras que, en la producción de mezcal, la cosecha de las piñas se realiza antes de que aparezca el escapo. Como resultado, la propagación del agave se basa predominantemente en métodos asexuales mediante hijuelos o clones, lo que limita su capacidad de adaptación a cambios ambientales y aumenta su vulnerabilidad a enfermedades.

Además del impacto en la biodiversidad del agave, la eliminación de las inflorescencias afecta negativamente a los murciélagos nectarívoros del género *Leptonycteris*, conocidos como murciélagos magueyeros, cuya migración coincide con la floración del agave. Al reducirse la disponibilidad de néctar, se dificulta la polinización y se pone en riesgo la alimentación de estos polinizadores claves, lo que podría alterar sus patrones de migración (Rocamontes-Morales *et al.*, 2025).

En conjunto, estos factores resaltan la necesidad de implementar estrategias de manejo sostenible que equilibren la producción mezcalera con la conservación de los recursos genéticos del agave. A pesar de que los productores han desarrollado esta actividad durante generaciones como un medio de subsistencia, la falta de apoyo técnico y de programas gubernamentales ha impedido la multiplicación ordenada y sistemática del maguey a partir de semilla. Por ello, es fundamental fortalecer iniciativas que fomenten prácticas agrícolas sostenibles y la diversificación genética del cultivo para garantizar su viabilidad a largo plazo.

2.9 Factores abióticos de la Producción de Agave

Clima y temperatura

Los climas adecuados para la producción de agave poseen una temperatura que varía de templada a semicálida (Ruíz-Corral *et al.*, 2013). La temperatura juega un papel determinante en la eficiencia fotosintética del Agave, coincidiendo con lo reportado por Corral *et al.* (2002) para *A. tequilana*. Según estos autores, la fotosíntesis en agaves se incrementa cuando las temperaturas diurnas se mantienen entre 22-25 °C y las nocturnas entre 14-16 °C, mientras que temperaturas más elevadas, especialmente superiores a 28 °C durante el día y 20 °C en la noche, reducen significativamente la actividad fotosintética.

Precipitación

Los requerimientos hídricos de *Agave americana* varían según la precipitación anual y se clasifican en tres categorías: óptimos, entre 600 y 1500 mm; subóptimos, de 1500 a 1800 mm; y marginales, cuando la precipitación es inferior a 600 mm o superior a 1800 mm (Reynoso-Santos *et al.*, 2016).

Suelo y nutrientes

Álvarez-Sánchez *et al.* (2010) establecen que la fertilidad de los suelos destinados al cultivo de agave azul puede clasificarse en siete categorías, desde muy baja hasta muy alta, siguiendo los criterios propuestos por Castellanos *et al.* (2000) y SEMARNAT (2002). En cuanto al pH, los suelos óptimos para el crecimiento del agave se encuentran dentro de un rango medio (6.5-7.3), aunque

pueden tolerar variaciones desde moderadamente bajos (5.5-6.4) hasta moderadamente altos (7.4-8.1). Por otro lado, la materia orgánica desempeña un papel clave en la nutrición del agave, con valores ideales en la categoría media (1.81-2.30%) o superiores, ya que contribuye a mejorar la estructura del suelo y por ende la disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio. Reynoso-Santos (2016) indican que la pendiente del terreno influye en el drenaje y el manejo agrícola del Agave. Las pendientes óptimas (2-15 %) favorecen el escurrimiento del agua, mientras que las subóptimas (1-2 % y 15-45 %) pueden generar problemas de drenaje o erosión. Pendientes extremas (<1 % y >45 %) son marginales, dificultando el cultivo.

Fregoso-Zamorano *et al.* (2023) destacan que, si bien el agave es capaz de desarrollarse en suelos poco profundos y de baja fertilidad, su rendimiento se ve considerablemente favorecido cuando dispone de una nutrición adecuada, especialmente en suelos de textura intermedia, como los francos, franco-arenosos o franco-arcillosos.

2.10 Sustratos y Materia orgánica

Un Sustrato es cualquier material que, al ser colocado en un recipiente, brinda soporte físico, oxigenación y retención de agua adecuados para el desarrollo óptimo de las plantas. Además, puede suministrar los nutrientes esenciales, ya sea por sí solo o en combinación con otros materiales (Cruz-Crespo *et al.*, 2013). Estos mismos autores mencionan que para garantizar estos aspectos, el sustrato debe reunir requisitos específicos en sus propiedades físicas y químicas, y en el caso de materiales orgánicos, también en sus características biológicas. Además, es fundamental que el material seleccionado cuente con óptimas propiedades físicas al inicio del ciclo de cultivo, ya que estas pueden deteriorarse con el tiempo debido al manejo.

La Materia orgánica del suelo (MOS) se refiere a todo material derivado de plantas o animales que se encuentra en proceso de descomposición (Julca *et al.*, 2006). Según Wander *et al.* (1994), la MOS se clasifica en tres principales depósitos según su tiempo de descomposición total: la materia orgánica disuelta (MOD), activa

biológicamente y de rápida descomposición (1–2 años); la materia orgánica particulada (MOP), con una duración media (15–100 años); y el humus, la fracción más estable (500–5,000 años). La MOD está compuesta por residuos solubles, mientras que la MOP incluye detritos parcialmente descompuestos que aportan nutrientes a largo plazo (Prasad y Power, 1997). Por su parte, el humus, que representa del 35 al 50 % de la MOS, es una mezcla compleja de compuestos resistentes a la descomposición, clave en la retención de nutrientes, mejora de la estructura del suelo y disponibilidad de micronutrientes a través de procesos como la quelación.

La formación de la materia orgánica del suelo (MOS) es el resultado de múltiples factores ambientales y edáficos, reflejando la historia climática, la cobertura vegetal, las condiciones redox, el uso del suelo y la dinámica de la erosión. Estos factores determinan la composición, estabilidad y funcionalidad de la MOS en los ecosistemas, influyendo en la fertilidad del suelo y la capacidad para retener nutrientes y agua (Jakab *et al.*, 2022).

La relación C/N (Carbono/Nitrógeno) ha permitido realizar estimaciones generales al considerársele como un índice de la calidad de la hojarasca; entre más alto, menor es la susceptibilidad de esta para ser degradada (Cuadro 2) (Heal *et al.*, 1997). La calidad de la materia orgánica es crucial debido a su influencia en los procesos funcionales que ocurren en los ecosistemas forestales (López *et al.*, 2013).

Cuadro 2. Relación C/N de diferentes tipos de Materia orgánica (Heal *et al.*, 1997).

Materia orgánica	C/N	Materia orgánica	C/N
Bacterias	4-5	Residuo de trébol	23
Hongos	9	Heno de alfalfa	25
Humus	8-12	Mantillo de bosque	30
Mantillo de jardín	12-15	Tallos y hojas de maíz	60
Alfalfa joven	12	Paja de trigo	80
Compost	15-20	Paja	90-110
Leguminosas maduras	20	Xenobióticos	120 y más
Estiércol maduro	20	Aserrín	>250

2.10.1 Suelo de Bosque (pino-encino)

El suelo de bosque, especialmente aquel proveniente de ecosistemas templados como los de pino-encino, presenta una composición nutrimental favorable para la producción de plántulas y otras aplicaciones agrícolas. No obstante, sus propiedades pueden variar considerablemente según factores como la región, altitud, tipo de vegetación dominante y el manejo forestal. En la superficie de estos suelos se acumulan residuos vegetales —hojas, ramas, inflorescencias y frutos— que en conjunto conforman la hojarasca, siendo las hojas el componente predominante, también conocido como mantillo. Esta capa de materia orgánica funciona como un reservorio fundamental de nutrientes previamente absorbidos por las plantas desde el suelo (Rocha-Loredo y Ramírez, 2009). Su descomposición representa la principal vía de retorno de nutrientes al ecosistema edáfico, facilitando el reciclaje de la MOS y el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Gutiérrez-Vázquez *et al.*, 2012; Crespo, 2015). De acuerdo con Sánchez *et al.* (2008), este proceso libera del 70 al 90% de los nutrientes esenciales que las plantas necesitan, aunque su disponibilidad inmediata para la absorción vegetal depende de múltiples factores edáficos y biológicos.

2.10.2 Suelo Agrícola

El suelo agrícola es un recurso vital que sustenta la producción de alimentos y contribuye a la biodiversidad y a la sostenibilidad de los ecosistemas. Según Monther *et al.* (2020), la salud del suelo se ve influenciada por factores físicos, químicos y biológicos, lo que impacta directamente en el rendimiento de los cultivos y la calidad del producto final.

2.10.3 Estiércol Caprino

El estiércol caprino representa una alternativa económica y eficaz como mejorador de suelo gracias a su elevada concentración de elementos fundamentales para el crecimiento de las plantas (Carbajal y Mera, 2010). No obstante, cuando se aplica en estado fresco puede generar efectos adversos en el agroecosistema, tales como la acumulación excesiva de metales como hierro, zinc y aluminio, además del incremento de sales inorgánicas, presencia de patógenos,

pérdida de nutrientes por lixiviación y erosión, así como la emisión de gases tóxicos como amoníaco y sulfuro de hidrógeno (Oliveros-Campos *et al.*, 2012).

Varias tecnologías de compostaje han surgido con el objetivo de mejorar los parámetros del proceso, considerando las características de composición y volumen de los materiales a descomponer, así como la escala de operación. El fundamento principal es alcanzar un producto final que cumpla con estándares de calidad, tanto desde la perspectiva sanitaria como en su eficacia como fertilizante. Dependiendo del método de aireación utilizado, se pueden categorizar tres tipos (Figura 11). Las pilas estáticas con aireación natural son el sistema más antiguo documentado, en el cual se forman montones de baja altura que permanecen inalterados durante el proceso de compostaje; la ventilación se lleva a cabo de manera natural por las áreas existentes en la masa a compostar (Santiago Cubas, 2021).

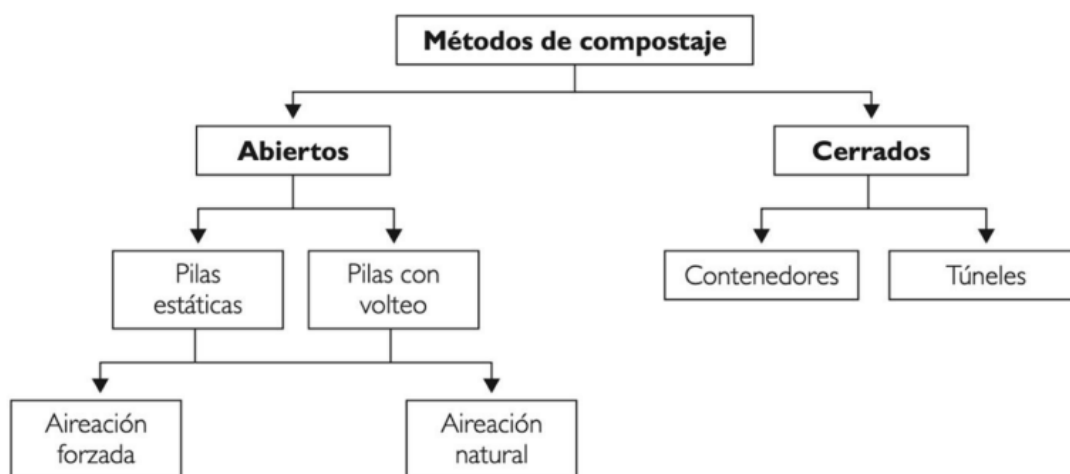


Figura 11. Métodos del compostaje (Lavado *et al.*, 2012)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización del experimento

La investigación se estableció en el periodo comprendido de abril 2023 – abril 2024, en dos localidades de Nuevo León (Figura 12), la primera en el campus Escobedo de la FAUANL Municipio de Escobedo, con una ubicación geográfica de 25°47'07" latitud Norte, 100°17'06" longitud Oeste, y altitud de 478 msnm, y la segunda en San Joaquín de Soto (S. J. de Soto), Aramberri, con una ubicación geográfica de 24°14'23" latitud Norte, 99°54'46" longitud Oeste, con una altitud de 2147 msnm (Google Earth, 2024).



Figura 12. Localización del área experimental.

3.2 Material Vegetal

Las 64 plántulas utilizadas en el experimento fueron desarrolladas en un período de dos años en la localidad de S. J. de Soto por los ejidatarios del lugar, pertenecen a la especie *A. Gentryi* mejor conocidas por los habitantes como “maguey verde”. En la Figura 13 se muestran las instalaciones y las plántulas producidas a partir de semilla colectada en la misma área.



Figura 13. Instalaciones y producción de plántulas. Vivero en San Joaquín de Soto (A); semilla germinada por Elsa Luna Flores en el mismo ejido; proyecto financiado por **Bat Conservation International** (B).

3.3 Fertilizante orgánico

Radimax Boost (R.B) es un fertilizante a base de sustancias naturales (aminoácidos, péptidos, vitaminas, polisacáridos, glibetaina, etc.) que estimula el crecimiento, mejora el enraizamiento y reduce el tiempo de superación del estrés al trasplante de las plantas (Radimax Boost – Novagro México, 2022).

3.4 Tratamientos

En el Cuadro 3 se observa el arreglo de los tratamientos, los cuales constaron de dos testigos de sustratos (T1 suelo de bosque (pino-encino) y T2 suelo agrícola) y mezclas de suelo de bosque con estiércol caprino a dos diferentes proporciones (T3 con 30% de estiércol caprino más 70% de suelo de bosque y T4 con 60% estiércol caprino más 40% suelo de bosque). Los cuatro tratamientos antes

descritos fueron repetidos agregando el producto R. B en el riego tratamientos T5, T6, T7 y T8.

Cuadro 3. Descripción de los tratamientos de acuerdo con el volumen de cada sustrato. 1. Suelo de bosque 2. Suelo agrícola 3. Estiércol de Cabra

Trata.	Sustratos		
	1	2	3
T1	100%		
T2		100%	
T3	70%		30%
T4	40%		60%
Agregando R.B a todos los Trata.			
T5	100%		
T6		100%	
T7	70%		30%
T8	40%		60%

Trata; Tratamientos, **R.B;** Radimax Boost.

3.5 Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar con un arreglo factorial, conformado por ocho tratamientos y cuatro repeticiones. Cada unidad experimental consistió en una maceta que contenía una plántula de maguey. Los datos obtenidos a lo largo del estudio fueron procesados mediante el software estadístico SPSS versión 20 (IBM, 2021), aplicando un análisis de varianza (ANOVA), seguido de pruebas de comparación de medias mediante el método de Tukey ($p \leq 0.05$), así como análisis de correlación para evaluar la asociación entre las variables agronómicas y las horas calor acumuladas.

Cuadro 4. Croquis del acomodo de unidades experimentales en campo para ambas localidades.

T1	T8	T7	T5	T2	T4	T6	T3
T5	T4	T3	T1	T6	T8	T2	T7
T7	T6	T5	T3	T8	T2	T4	T1
T3	T2	T1	T7	T4	T6	T8	T5

3.6 Preparación de sustratos

Los sustratos elegidos para esta investigación se colectaron por su fácil disponibilidad en la región y sus cualidades como materiales orgánicos (Figura 14).

3.6.1 Suelo de bosque (S. B.)

Sustrato principal utilizado para plantas de ornato en pequeños jardines de casa, fue sustraído de la parte boscosa (pino-encino) de la comunidad S. J. de Soto Aramberri, N.L, es la capa de suelo superficial cuya profundidad varia de los 0 a 10 cm. Las muestras se cribaron y mezclaron de tal manera que quedaran lo más homogéneo posible.

3.6.2 Suelo agrícola

El suelo se obtuvo de las parcelas agrícolas del campus Marín de la Facultad de Agronomía UANL, donde tradicionalmente se cultiva maíz y sorgo. Tomándose muestras de 0 a 25 cm de suelo, para después cribarse y tamizarse.

3.6.3 Estiércol Caprino (E. C.)

El estiércol se tomó de los hatos caprinos de S. J. de Soto en Aramberri, N.L., posteriormente se cribó. Adicional a ello se cubrió con plástico negro, se selló y dejó por un mes y medio dentro de un invernadero para exponerlo a las altas temperaturas con la finalidad de eliminar patógenos.

Para la preparación de los tratamientos 3-4 y 7-8 se hicieron las mezclas de suelo de bosque con 30% y 60% de estiércol de cabra correspondientemente con el objetivo de que todos quedaran con las mismas condiciones.

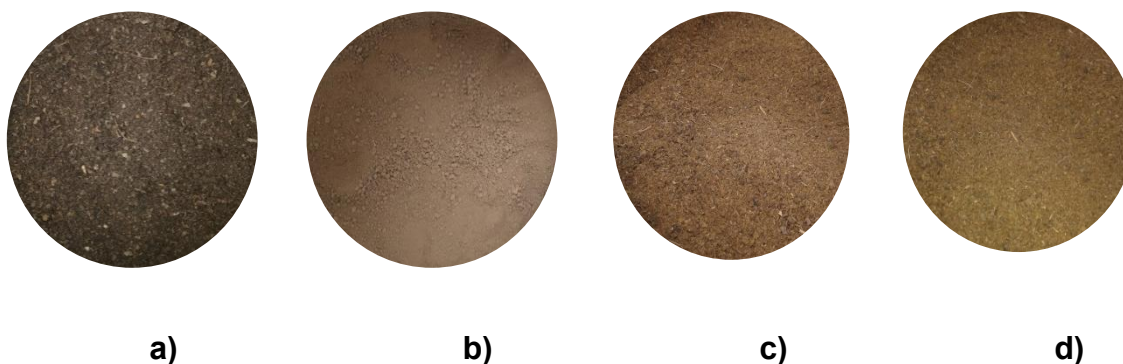


Figura 14. Sustratos utilizados. a) S. B. b) Suelo agrícola. c) 30% E. C. -70% S.B. y d) 60% E. C. -40% S. B.

3.7 Análisis de sustratos y suelo

Las propiedades químicas y físicas de los sustratos fueron analizadas tanto al inicio como al final del experimento, con propósito de observar los cambios en su composición. Dado que se trabajó con compostas, resulta fundamental evaluar la descomposición de la materia orgánica y la liberación de nutrientes a lo largo del tiempo. Se utilizaron 400 g de muestra de cada sustrato, se molieron y tamizaron para un mejor manejo.

La textura del suelo se determinó utilizando el método del hidrómetro de Bouyoucos. El porcentaje de materia orgánica se determinó mediante el método de Walkley y Black (1934).

La concentración de nitrógeno (N) se determinó por el método micro Kjeldahl, que incluye tres etapas: digestión, destilación y titulación. Para la determinación de fósforo (P), se empleó el método de amarillo-vanadato-molibdato.

La determinación de micronutrientes (Fe, Mn, Zn y Cu) y macronutrientes (Ca, Mg, K) se realizó mediante el método de absorción atómica (GBS, modelo Savant AA, A7254). Este método tiene por base en la medición de la absorbancia de electrones de átomos utilizando un espectrofotómetro con una llama de aire oxidante. Para la determinación del pH, se utilizó una relación de 2:1, diluyendo dos partes de agua por una de sustrato. La mezcla se agitó durante 30 minutos a 140 RPM, y finalmente se tomó la lectura con un potenciómetro. La conductividad eléctrica (CE) se midió mediante el método de extracto de pasta a saturación.

La determinación de material húmico y fúlvico se realizó por el método de fraccionamiento químico de ácidos húmicos y fúlvicos.

Para determinar Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchitez Permanente (PMP), Densidad aparente (Da), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se emplearon los siguientes métodos respectivamente; Método gravimétrico, método del extractor de presión, método de cilindro de núcleo y método de intercambio con acetato de amonio a pH de 7.

3.8 Trasplante

Primera etapa.

El trasplante se realizó el día 07 de abril del año 2023 (Figura 15). Se dejó el cepellón para así evitar la destrucción de las raíces. Antes de ser trasplantadas se registraron datos de cada plántula, estos datos corresponden a las variables morfométricas descritas más adelante. Cada maceta se enumeró del 1 al 32 y para el caso de las macetas de Soto en la etiqueta se agregó la letra S. Al terminar de trasplantar se pesaron las macetas de forma individual. Las unidades experimentales correspondientes a San Joaquín de Soto fueron trasladadas ese mismo día a la localidad La Ascensión, Aramberri N.L y al día siguiente por la mañana establecidas en su lugar definitivo. En esta localidad se puso una malla para evitar que animales dañaran las plantas.

Segunda etapa.

Debido a la falta de espacio suficiente en las macetas para el adecuado desarrollo de las raíces, se realizó el trasplante de las plántulas en ambas localidades (Figura 16). Las nuevas macetas tenían una capacidad de 8 litros cada una y un diámetro de 26 cm. El trasplante en la localidad de S. J. de Soto se llevó a cabo el día 7 de enero de 2024, mientras que en la localidad de Escobedo se realizó el día 8 de enero.



Figura 15. Proceso del trasplante primera etapa.



Figura 16. Proceso del trasplante segunda etapa.

3.9 Riego

El espaciamiento entre riegos se determinó con base en las necesidades de las plántulas, como son plantas con un metabolismo fotosintético tipo CAM, se dieron riegos espaciados a una semana en los meses de primavera verano (temperaturas altas) y en los de invierno un riego cada dos semanas. Para determinar la capacidad de retención de agua en cada sustrato se pesó cada maceta de los tratamientos para obtener el peso seco antes de su humedecimiento y posteriormente se regó a saturación dejándose drenar libremente por 48 horas, después se volvió a pesar para finalmente obtener la capacidad de retención de agua como se observa en la Figura 17.

En promedio se aplicó 0.8 L de agua en la primera etapa del experimento y 2 L de agua por maceta por riego.

En el Cuadro 5 se muestra el calendario de riegos aplicados a lo largo del experimento.



Figura 17. Medición de retención de humedad.

Cuadro 5. Calendario de riegos aplicados.

Núm. de riego	Localidad	
	S. J de Soto	Escobedo
1	08/04/2023	17/04/2023
2	15/05/2023	29/04/2023
3	23/05/2023	06/05/2023
4	31/05/2023	17/05/2023
5	07/06/2023	24/05/2023
6	14/06/2023	31/04/2023
7	20/06/2023	09/06/2023
8	27/06/2023	19/06/2023
9	06/07/2023	27/06/2023
10	16/07/2023	08/07/2023
11	21/07/2023	17/07/2023
12	07/08/2023	24/07/2023
13	14/08/2023	02/08/2023
14	26/08/2023	06/08/2023
15	03/09/2023	11/08/2023
16	10/09/2023	16/08/2023
17	26/09/2023	24/08/2023
18	03/10/2023	29/08/2023
19	19/10/2023	05/09/2023
20	07/11/2023	10/09/2023
21	31/12/2023	14/09/2023
22	08/01/2024	25/09/2023
23	04/02/2024	24/10/2023
24	10/02/2024	01/11/2023
25	03/02/2024	09/12/2023
26	09/03/2024	19/12/2023
27	17/03/2024	27/12/2023
28	26/03/2024	07/01/2024
29		09/01/2024
30		20/01/2024
31		29/01/2024
32		06/02/2024
33		27/02/2024
34		08/03/2024
35		23/03/2024
36		31/03/2024

3.9.1 Aplicación de Fertilizante Orgánico

El producto se aplicó en dosis de 1 ml de producto por Litro de agua directamente en forma de riego (Figura 18). La primera aplicación fue después del trasplante y tres aplicaciones en intervalos de 7 días. Posterior a ello, una aplicación por mes. En el Cuadro 6 se muestran las fechas en las que se aplicó el fertilizante en ambas localidades.

Cabe mencionar que las aplicaciones se hicieron en un horario de 8 am a 9 am por la mañana o en la tarde en un horario de 6 pm a 7 pm.

Cuadro 6. Fechas de aplicación del fertilizante.

Núm. de aplicación	Localidad	
	S. J. de Soto	Escobedo
1	15/04/2023	17/04/2023
2	28/04/2023	29/04/2023
3	15/05/2023	01/05/2023
4	07/08/2023	06/08/2023
5	03/09/2023	05/09/2023
6	23/10/2023	25/10/2023



Figura 18. Aplicación del fertilizante orgánico en el riego.

3.9.2 Análisis de agua

El agua de riego utilizada en la localidad S. J. de Soto fue la del pozo profundo de la comunidad. Para la localidad Escobedo se utilizó el agua de la ciudad. En el Cuadro 7 se muestran los métodos utilizados para la determinación de los diferentes parámetros.

Cuadro 7. Métodos y fórmulas para la determinación del análisis de agua.

Determinación	Método	Unidades
pH	Potenciómetro	-
CE	Conductímetro	m/s
Ca	Titulación con E.D.T.A 0.01 N	meq
Ca + Mg	Titulación con E.D.T.A 0.01 N	meq
Mg	Por diferencia	meq
CO ₃	Titulación con H ₂ SO ₄ 0.01 N	meq
HCO ₃	Titulación con H ₂ SO ₄ 0.01 N	meq
Cl	Titulación con AgNO ₃ 0.005 N	meq
SO ₄ ²⁻	$= \frac{CE \times 1000}{100} - (CO_3 + HCO_3 + Cl)$	meq
Σ Aniones	$= CO_3 + HCO_3 + Cl + SO_4$	meq
Na	$= \frac{CE \times 1000}{100} - (Ca + Mg)$	meq
Σ Cationes	$= Ca + Mg + Na$	meq
SE	Si $Ca < CO_3 + HCO_3 + SO_4$ pero $Ca > CO_3 + HCO_3$ $= \Sigma \text{Cationes} - Ca$	-
SP	$= Cl + \frac{1}{2} SO_4$	-
RAS	$= \frac{N_a}{\sqrt{(Ca + Mg)/2}}$	-
C.S.R	$= (CO_3 + HCO_3) - (Ca + Mg)$	-
P.S.P	$= Na / SE \times 100$	-

3.10 Variables evaluadas

3.10.1 Variables morfométricas

Para realizar las mediciones de estas variables, se utilizaron los métodos descritos por Martínez *et al.* (2012) y Hernández *et al.* (2021), adaptándolos para obtener el diámetro de la roseta, la altura de la plántula, el largo, ancho y grosor de las hojas de cada planta como se observa en la Figura 19. Cabe mencionar que en estas mediciones no se tomó en cuenta el tamaño de la espina terminal.

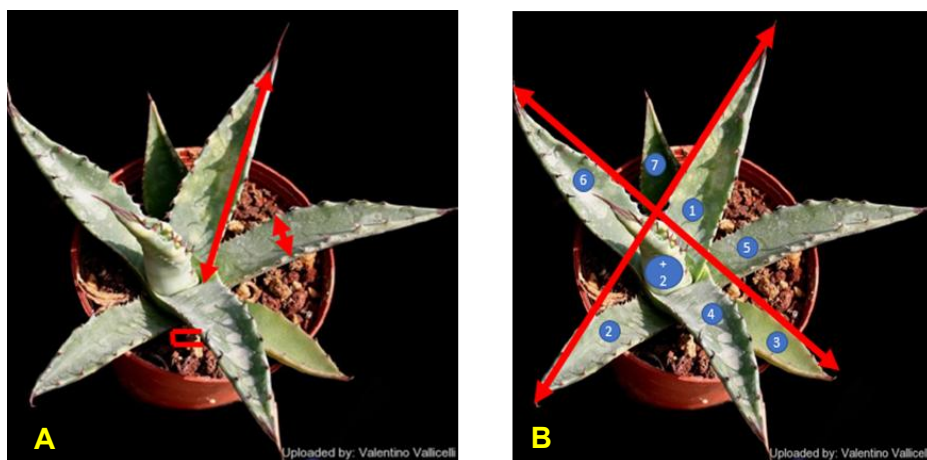


Figura 19. Mediciones de variables morfométricas. A) Dimensiones del largo, ancho y grosor; B) diámetro de la roseta, y número de hojas.

Para obtener las lecturas se utilizó un vernier de la marca Mitutoyo (Figura 20) calibre 530-312 cuyas medidas son expresadas en centímetros y milímetros.



Figura 20. Vernier.

Los intervalos entre cada muestreo fueron de un mes en promedio, teniendo el siguiente orden de fechas de muestreo para S. J. de Soto (primera fecha) y Escobedo (segunda fecha) respectivamente;

M1 abril 15;18, M2 mayo 13;15, M3 junio 17;14, M4 julio 15;18, M5 agosto 19;25, M6 septiembre 23;27, M7 octubre 21;30, M8 noviembre 25;30, M9 diciembre 23;28, M10 enero 20;27, M11 febrero 24;29 y M12 marzo 29;27.

Altura de la plántula (cm): Esta medida se tomó desde la parte basal de la planta hasta el ápice de la hoja más alta.

Diámetro de roseta (cm): Esta variable se estimó considerando el promedio de las hojas con mayor desarrollo en forma horizontal y vertical (en forma de cruz) como se muestra en la Figura 19B.

El largo ancho y grosor se midió en siete hojas de cada planta (una hoja por cada nivel en la roseta):

Largo de la hoja(cm): Las mediciones fueron tomadas desde la parte basal de la hoja hasta el ápice.

Ancho máximo de la hoja (cm): se midió en la parte media de las hojas.

Grosor de la hoja (cm): también se midió de la parte media de la hoja.

Número de hojas o pencas: las hojas desarrolladas y las que estaban próximas a desarrollar se consideraron para el conteo.

3.10.2 Temperatura

Las temperaturas mínimas y máximas fueron tomadas diariamente a partir del mes de abril (Cuadro 30A) al mes de marzo 2024 (Cuadro 41A) con la ayuda de un termómetro digital de temperaturas de máximas y mínimas para interior/exterior con sensor de humedad TER-150 (Figura 21). Con estos datos se calculó la temperatura media ($\bar{T}_a$) con el objetivo de medir la acumulación de horas calor, utilizando la ecuación $GD = \bar{T}_a - T_{base}$, empleada también en otras investigaciones por Hassan *et al.* (2007). La temperatura base considerada para el cultivo del agave fue de 11 °C.

En el Cuadro 8 se muestran las medias de temperaturas mínimas y máximas tomadas en las dos localidades en el periodo que se estableció la investigación, así como también las Horas Calor Acumuladas (HCA). Para el cálculo de las HCA

mensuales, se tomaron como punto de partida las fechas en que se realizaron las mediciones de las variables agronómicas.



Figura 21. Termómetro.

Cuadro 8. Temperaturas promedio mínimas y máximas por mes y grados días acumulados en el periodo de medición abril 2023- marzo 2024.

Localidad						
Mes	S. J. de Soto			Escobedo		
	T.Min	T.Max	$GD = \left[\left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) \right] - Tb$	T.Min	T.Max	$GD = \left[\left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \right) \right] - Tb$
Abr.	11.57	23.85	94	17.55	25.45	210
May.	11.61	27.35	262.5	21.16	28.74	432.5
Jun.	15.76	30.93	370.4	24.06	40.71	641.65
Jul.	13.47	29.73	328.7	24.3	41.61	680.9
Ago.	17.05	24.06	296.3	24.51	42.87	702.55
Sep.	11.46	26.9	245.5	22.54	41.43	628.6
Oct.	12.22	23.34	210.25	18.86	31.57	443.8
Nov.	9.01	24.08	167.35	12.91	25.87	251
Dic.	4.87	21.96	93.35	10.55	23.37	185
Ene.	5.59	20.8	99.85	8.18	23.7	175.65
Feb.	6.84	25.64	157.05	12.17	29.78	289.5
Mar.	7.81	28.39	220.25	16.48	31.16	397.6

3.10.3 Grados brix

Los grados Brix ($^{\circ}\text{Bx}$) miden el contenido de azúcar en una solución acuosa. Un grado Brix equivale a 1 gramo de sacarosa en 100 gramos de solución, lo que representa la concentración de azúcares en la muestra (Mettler-Toledo, s.f.). Este parámetro es crucial para la industria del tequila, ya que determina el rendimiento de azúcares fermentables.

La concentración de azúcares en bruto fue medida utilizando un refractómetro portátil ATC (Figura 22). El procedimiento de medición se detalla en la Figura 23. La muestra de savia se extrajo de la parte central de la planta, conocida como “piña,” que es el área donde el agave almacena la mayor cantidad de azúcares. Posteriormente, la savia fue colocada en el prisma del refractómetro para obtener la lectura directa de grados Brix. Este análisis fue realizado el 19 de mayo de 2024 en la localidad de S. J. de Soto, mientras que en la localidad de Escobedo se efectuó el 25 de mayo.



Figura 22. Refractómetro ATC,



Figura 23. Proceso de la toma de muestra.

3.10.4 Color

El color de las hojas de la planta se midió utilizando el sistema de Cartas Munsell para tejido vegetal, el cual es ampliamente utilizado en botánica y agronomía por su precisión en la evaluación comparativa del color.

El sistema funciona mediante la organización de colores en un espacio tridimensional, basado en tres parámetros clave: Tono (Hue), Valor (Value) y Croma (Chroma);

El Tono representa la clasificación del color según su longitud de onda dominante, correspondientes a los tonos dentro del espectro visible, son acomodados en una rueda de color dividida en 10 sectores (R, YR, Y, GY, G, BG, B, PB, P y RP). El Valor indica la claridad u oscuridad del color, con una escala de 0 (negro) a 10 (blanco). El Croma mide la pureza o intensidad del color. En la Figura 24 se muestra un esquema del árbol de Albert Munsell creado en 1905 (Pérez *et al.*, 2008).

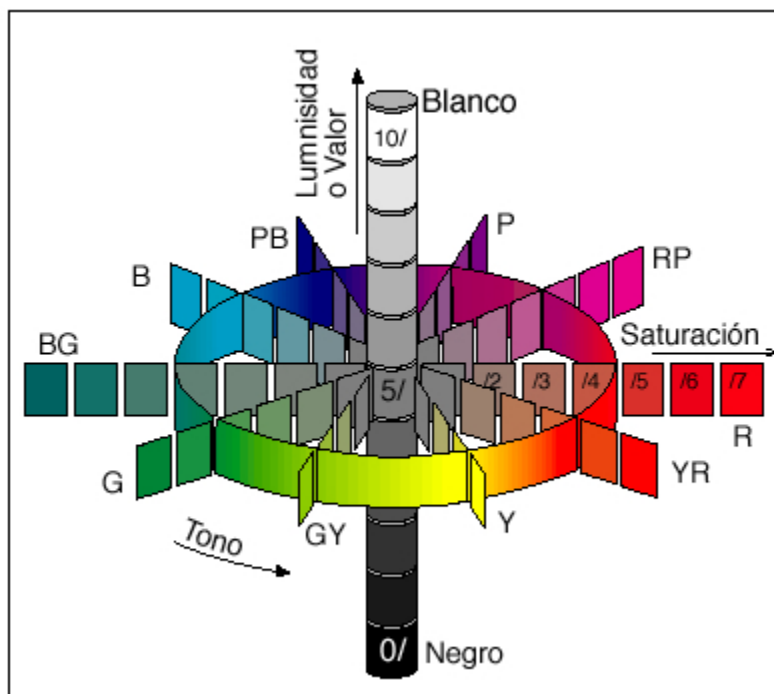


Figura 24. Árbol de Munsell (Pérez *et al.*, 2008).

3.10.5 Materia fresca y seca.

Para la recolección de la muestra fresca, las plantas fueron sometidas a un lavado de raíces. Para ello, se sumergieron individualmente en un recipiente con agua con el fin de minimizar la pérdida de raíces al separarlas del sustrato, como se muestra en la Figura 25. Las plantas se dejaron secar por un par de horas para quitarles el agua residual del lavado, con una balanza digital, se tomó el peso fresco de la parte aérea y, por separado, el peso de las raíces, las hojas fueron cortadas en tiras para un mejor manejo.

Las muestras se dejaron deshidratar de manera natural durante una semana y luego se colocaron en una estufa de secado (Drying Oven DX602C) a una temperatura de 60°C durante una semana adicional. Después de retirar las muestras de la estufa de secado se tomó nuevamente el peso en una balanza analítica.

La Materia Seca se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$\% MS = \frac{(\text{Peso Seco})}{\text{Peso Fresco}} \times 100$$

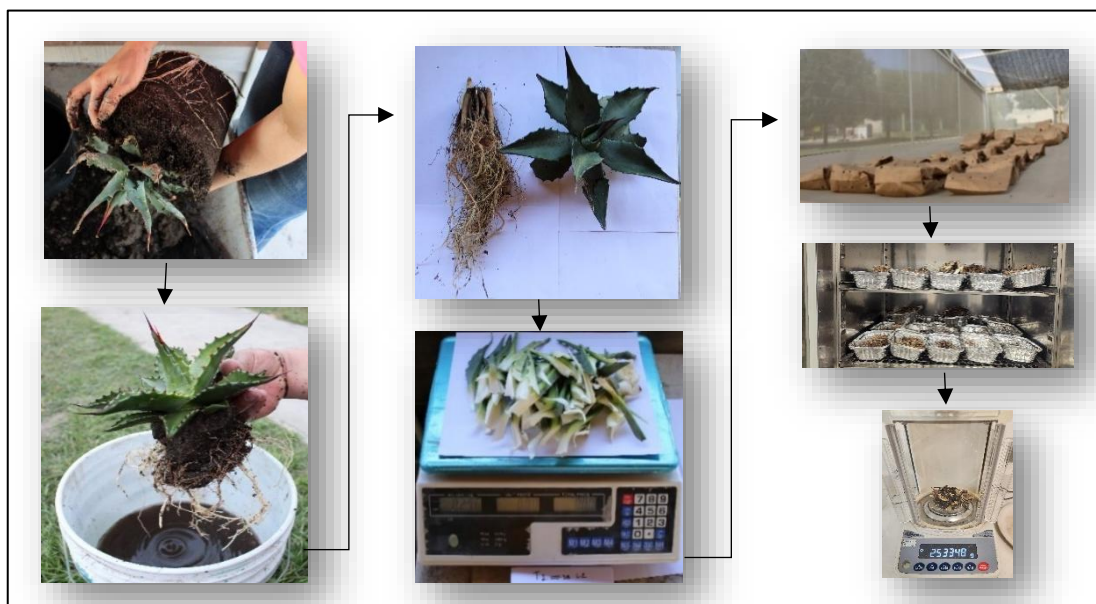


Figura 25. Procesamiento de las muestras para obtención de Materia fresca y seca.

3.10.6 Porcentaje de cenizas y materia orgánica de la parte aérea de la planta.

Para determinar el porcentaje de cenizas, se molieron 15 g de muestra de la parte aérea de las plantas utilizando una licuadora doméstica (Oster Mod.2114101). Posteriormente, se pesó 1 g de muestra por tratamiento, con tres repeticiones, en crisoles previamente tarados. Las muestras se introdujeron en una mufla a 500° C durante 4 horas, según los procedimientos estandarizados para la determinación de cenizas en tejidos vegetales (AOAC, 2005).

Tras el enfriamiento de los crisoles en un desecador, se volvió a pesar. La diferencia de peso entre la muestra antes y después se asume como el contenido de materia orgánica, la cual se volatiliza durante el proceso. El residuo inorgánico restante representa el contenido de cenizas. En la Figura 26 se muestra el proceso anteriormente descrito.

El porcentaje de cenizas y materia orgánica se calculó utilizando la siguiente formula:

$$\% \text{ Cenizas} = \left(\frac{\text{Peso final del crisol con cenizas} - \text{Peso del crisol vacío}}{\text{Peso inicial de la muestra}} \right) \times 100$$

$$\% \text{ Materia orgánica} = 100 - \% \text{ Cenizas}$$



Figura 26. Proceso de determinación de cenizas.

3.10.7 Concentración nutrimental de tejido foliar

Las muestras fueron procesadas para determinar la concentración de micro y macroelementos, analizando un total de 32 muestras, distribuidas en tres repeticiones por tratamiento y 12 muestras por localidad (Figura 27).

La concentración de nitrógeno (N) se cuantificó utilizando el método micro Kjeldahl, que se llevó a cabo en tres etapas consecutivas: digestión, destilación y titulación.

Para la extracción de minerales, las cenizas previamente obtenidas se filtraron utilizando 25 ml de ácido clorhídrico (HCl) al 1N, obteniendo así los extractos necesarios para proceder con las determinaciones de la concentración de macro y micronutrientes.

Para la determinación de fósforo (P), se utilizó el método de amarillo-vanadato-molibdato, en un espectrofotómetro de luz ultravioleta visible.

Los macronutrientes (K, Ca, Mg,) micronutrientes (Fe, Mn, Zn y Cu) fueron evaluados empleando el método de absorción atómica. Este método se fundamenta en la absorción de luz por los electrones de los átomos presentes en una muestra, los cuales son excitados mediante una llama de aire-oxígeno, lo que permite medir con precisión las concentraciones de estos nutrientes.

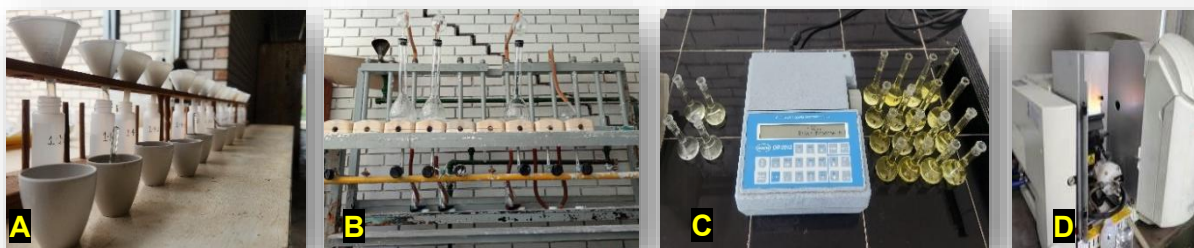


Figura 27. Proceso para la determinación de nutrimentos en tejido foliar. A) Extracción de minerales, B) Destilación para obtención de N, C) Determinación de P y D) Determinación de K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, y Cu.

3.11 Plagas y enfermedades

Durante el experimento, las plagas solo fueron observadas en la localidad S. J. de Soto. Los daños identificados consistieron en mordeduras en las hojas de las plantas del maguey (Figura 28A), las cuales se atribuyeron a la presencia de roedores de campo. Inicialmente, el control fue de tipo mecánico, utilizando una tela para cubrir el área, sin embargo, esta medida no resultó efectiva. Posteriormente, se aplicó el plaguicida malatión a una concentración de 20 ml del producto por litro de agua, limitando el contacto directo con las plantas (se aplicó en la mesa y en las superficies afines a ella). Sin embargo, al no obtener resultados, la siguiente aplicación se realizó directamente sobre las plantas (Figura 28B). Las aplicaciones se realizaron en la mañana, entre las 7 y 8 am, o bien en la tarde, asegurándose de que no hubiera vientos fuertes ni alta intensidad de luz solar durante el procedimiento.

En el cuadro 9 se detallan las fechas de aplicación y las macetas afectadas.



Figura 28. Daños ocasionados por plaga en la localidad S. J. de Soto. A) Planta con daños en hoja. B) Aplicación del producto malatión directamente sobre las plantas.

Fecha de aplicación	Plantas afectadas
28/08/2023	
06/09/2023	M3, M5, M7, M10,
24/12/2023	M11 y M30

Cuadro 9. Fechas de aplicación del plaguicida y plantas afectadas.

Durante el desarrollo del experimento en la localidad de Escobedo, fue necesario retirar dos unidades experimentales (UE) debido a la presencia de anomalías fitosanitarias.

La UE 31 (Figura 29A) presentó un crecimiento atípico a partir del cuarto mes del estudio, lo que motivó su retiro el 13 de agosto de 2023 para evitar posibles interferencias en los resultados.

Por otro lado, la UE 22 mostró (Figura 29B) la aparición de manchas necróticas en las hojas durante el mes de junio de 2023. Dado que la sintomatología progresó de manera acelerada, se tomó la decisión de removerla.



Figura 29. Plantas removidas del experimento. A) Unidad experimental Núm. 31 y B) Unidad experimental Núm. 22.

Para determinar la causa de la afección, se realizó un análisis de laboratorio el 29 de junio de 2023.

El procedimiento se realizó por medio de dos técnicas: En la primera técnica, el proceso de análisis del material vegetal afectado comenzó con la extracción de las muestras, asegurando la inclusión de tejido tanto sano como dañado para una evaluación más precisa. Posteriormente, las muestras fueron lavadas con agua y jabón, dejándolas en reposo en la solución jabonosa por un minuto para facilitar la remoción de impurezas. Una vez completado el lavado, las muestras fueron secadas cuidadosamente y sumergidas en una solución de hipoclorito de sodio al 20 % durante un minuto para su desinfección. Luego, se enjuagaron con agua destilada estéril para eliminar cualquier residuo de la solución. El material vegetal se trasladó a una campana de flujo laminar (Figura 30A), donde se desinfectó el área de trabajo para evitar la contaminación del cultivo.

Posteriormente, las muestras fueron fragmentadas en porciones más pequeñas y colocadas en cajas Petri estériles que contenían medio de cultivo papa-dextrosa-agar. Las cajas fueron selladas con Parafilm para prevenir contaminaciones externas y se identificaron con la fecha y el tipo de muestra correspondiente. Finalmente, las placas fueron llevadas a incubación bajo condiciones controladas para el desarrollo y análisis de patógenos (Figura 30B).

En segunda técnica, el procedimiento inició con el lavado de la muestra utilizando agua y jabón para eliminar posibles contaminantes superficiales. Posteriormente, se realizó una desinfección con una solución de hipoclorito de sodio al 20 %, dejando reposar la muestra durante un minuto para garantizar la eliminación de microorganismos. Una vez desinfectada, la muestra fue triturada con un pistilo hasta obtener una consistencia homogénea. Para facilitar la manipulación del material, se agregó una gota de agua estéril, aumentando así la cantidad de líquido disponible para el proceso de siembra. Dentro de la campana de flujo laminar, el asa bacteriológica fue desinfectada mediante la aplicación de alcohol y posterior flameado en dos ocasiones. Luego de alcanzar la temperatura ambiente, el asa bacteriológica fue sumergida en el líquido de la muestra. El proceso de siembra se llevó a cabo en dos cajas Petri previamente flameadas, empleando la técnica de estría para la dispersión del material biológico. Tras la inoculación, el asa bacteriológica fue nuevamente flameada para evitar la contaminación cruzada. Las cajas fueron selladas con papel Parafilm y etiquetadas con la fecha y el tipo de muestra correspondiente. Finalmente, las placas fueron trasladadas a la incubadora bajo condiciones controladas para su posterior análisis. El patógeno identificado fue *Fusarium oxysporum*.



Figura 30. Procesamiento de la muestra en laboratorio. A) Material en campana de flujo laminar y B) Cultivo del hongo en caja Petri.

3.12 Análisis estadístico

El modelo matemático utilizado fue $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$

Donde:

Y_{ijk} = Rendimiento

μ = Media global de todos los tratamientos

α_i = Tratamientos

β_j = Localidad

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Interacción de tratamientos dentro de localidades

ε_{ijk} = Error experimento

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los análisis estadísticos no se encontraron efectos significativos del producto R.B. comparado con el testigo en ninguna de las variables estudiadas, por lo que al analizar las variables los tratamientos se redujeron a 4 tratamientos con 8 repeticiones.

4.1 Análisis de sustratos al inicio del experimento

Previo al establecimiento del experimento, se realizó una caracterización fisicoquímica de los sustratos empleados, con el propósito de conocer las condiciones iniciales de fertilidad y propiedades edáficas que pudieran influir en el desarrollo de las plántulas. En el Cuadro 10, se presentan los resultados obtenidos para los tratamientos. Este análisis permitió establecer una línea base para comparar la evolución de los parámetros a lo largo del experimento.

Cuadro 10. Análisis de sustratos al inicio del experimento.

Parámetro	Tratamiento			Unidad
	1	3	4	
pH	6.85	6.69	6.5	
C.E	0.72	2.1	3.39	dS/m
Humedad	10.17	9.77	14.09	%
M.O	43.11	52.44	55.73	%
N	1.96	2.240	2.4	%
P	0.130	0.150	0.210	%
K	0.760	0.840	1.21	%
Mg	0.380	0.340	0.350	%
Ca	5.150	4.560	3.980	%
Fe	12749.450	21173.250	14407.890	Ppm
Zn	146.860	167.510	147.430	Ppm
Mn	891.690	797.510	564.820	Ppm
Cu	26.760	275.220	155.690	Ppm
NO3	42.130	55.150	103.680	Ppm
NH4	21.690	49.540	74.990	Ppm
Solidos minerales	46.730	37.800	30.180	%
Material húmico	5.540	9.270	10.050	%

Ácidos fúlvicos	2.650	4.370	5.800	%
Ácidos húmicos	0.710	1.570	1.940	%

Tratamientos: **1:** Suelo de bosque, **3:** Mezcla de 30% estiércol caprino más 70% suelo de bosque y **4:** Mezcla de 60% estiércol caprino más 40% suelo de bosque.

En el Cuadro 11 se muestra el análisis correspondiente al suelo agrícola, utilizado como testigo comparativo por ser un tipo de suelo comúnmente empleado en prácticas productivas en la región. La caracterización incluye propiedades como pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, macro y micronutrientes, y propiedades físicas relevantes.

Cuadro 11. Análisis de suelo agrícola al inicio del experimento.

Parámetro	Tratamiento	Unidad
2		
pH	7.49	
C.E	1.07	dS/m
Saturación	51.55	%
CC	38.6	%
PMP	24.9	%
Da	1.35	g/cm ³
CIC	28.17	meq/100g
M.O	2.38	%
N	14.500	ppm
P	49.480	ppm
K	238.810	ppm
Mg	460.660	ppm
Ca	14654.940	ppm
Fe	4.510	ppm
Zn	2.930	ppm
Mn	9.990	ppm
Cu	0.990	ppm
NO ₃	14.5	ppm
Na	67.200	Ppm

4.2 Análisis del de sustratos al final del experimento

Con el fin de evaluar los cambios en la calidad del sustrato derivados del proceso de cultivo y la mineralización de los componentes orgánicos, se llevó a cabo un segundo análisis al finalizar el experimento. Los resultados obtenidos para los tratamientos establecidos en la localidad de S. J. de Soto se reportan en el Cuadro 12, mientras que en el Cuadro 13 se detallan los correspondientes a la localidad de Escobedo. Estos cuadros permiten identificar variaciones en los niveles de nutrientes disponibles, materia orgánica, componentes húmicos y características fisicoquímicas del sustrato.

Cuadro 12. Análisis de sustratos al final del experimento localidad S. J. de Soto.

Parámetro	Tratamiento			Unidad
	1	3	4	
pH	7.77	7.72	7.79	
C.E	0.88	0.92	0.8	dS/m
Humedad	17.54	3.58	18.25	%
M.O	32.72	45.34	38.34	%
N	1.26	1.270	1.24	%
P	0.080	0.120	0.240	%
K	0.800	0.810	1.36	%
Mg	0.520	0.600	1.050	%
Ca	4.820	6.870	9.370	%
Fe	21277.080	20250.860	40547.320	Ppm
Zn	183.460	173.320	349.690	Ppm
Mn	853.190	880.890	2598.340	Ppm
Cu	27.370	24.670	49.580	Ppm
NO3	414.110	191.530	309.520	Ppm
NH4	17.670	14.590	14.590	Ppm
Sodio	0.02	0.02	0.07	
Solidos minerales	49.740	51.090	43.340	%
Carbono orgánico	18.980	26.300	22.240	
Material húmico	4.940	4.550	4.800	%
Ácidos fúlvicos	0.500	0.600	0.430	%

Ácidos húmicos	1.870	1.730	1.730	%
----------------	-------	-------	-------	---

Tratamientos: **1:** Suelo de bosque, **3:** Mezcla de 30% estiércol caprino más 70% suelo de bosque y **4:** Mezcla de 60% estiércol caprino más 40% suelo de bosque.

Cuadro 13. Análisis de sustratos al final del experimento localidad Escobedo.

Parámetro	Tratamiento			Unidad
	1	3	4	
pH	7.83	7.7	7.71	
C.E	1.02	1.17	1.51	dS/m
Humedad	4.73	16.46	14.97	%
M.O	42.37	38.32	40.61	%
N	1.2	1.19	1.31	%
P	0.130	0.090	0.140	%
K	0.91	0.78	0.78	%
Mg	0.610	0.630	0.530	%
Ca	5.980	5.520	4.820	%
Fe	21049.030	22417.330	18198.400	ppm
Zn	167.240	192.580	180.420	ppm
Mn	631.580	562.330	700.830	ppm
Cu	21.670	345.720	22.870	ppm
NO3	223.710	345.720	398.020	ppm
NH4	27.650	40.710	29.950	ppm
Sodio	0.2	0.03	0.04	
Solidos minerales	52.900	45.220	44.420	%
Carbono orgánico	24.580	22.230	23.560	
Material húmico	5.180	3.880	4.440	%
Ácidos fúlvicos	1.550	0.430	0.710	%
Ácidos húmicos	0.500	1.770	1.770	%

Tratamientos: **1:** Suelo de bosque, **3:** Mezcla de 30% estiércol caprino más 70% suelo de bosque y **4:** Mezcla de 60% estiércol caprino más 40% suelo de bosque.

Finalmente, el Cuadro 14 presenta el análisis del suelo agrícola al término del experimento, tanto en S. J. de Soto como en Escobedo, lo que permite observar los efectos diferenciales del manejo y condiciones.

Cuadro 14. Análisis de suelo agrícola al final del experimento para ambas localidades.

Parámetro	Tratamiento		Unidad
	2 S. J. Soto	2 Escobedo	
ph	8.23	8.19	
C.E	1.12	1.51	dS/m
Saturación	51.81	53.36	%
CC	39.3	38.7	%
PMP	21.5	22.9	%
Da	1.11	1.14	g/cm ³
CIC	24.24	20.17	meq/100g
M.O	2.39	2.69	%
N	11.950	14.420	Ppm
P	59.100	59.100	Ppm
K	488.240	430.800	Ppm
Mg	295.240	367.550	Ppm
Ca	4277.010	3442.780	Ppm
Fe	8.060	6.530	Ppm
Zn	3.260	2.910	Ppm
Mn	26.510	14.870	Ppm
Cu	1.450	1.630	Ppm
Na	0.850	1.360	%
RAS	1.500	1.500	
PSI	2.160	2.160	
CaCO ₃ -Tot	38.790	38.790	%

4.3 Análisis de agua

La calidad del agua se describe en el cuadro 15. La conductividad eléctrica (C.E) del agua en ambas localidades se encontró dentro del rango de agua con salinidad media, lo que la convierte en una opción adecuada para el riego. Además, en términos de la Relación de Adsorción del Sodio, el agua de ambas localidades presentó niveles bajos de sodio. Los valores de salinidad efectiva, salinidad potencial y carbonato de sodio residual también se encontraron en niveles bajos, lo cual es muy positivo. Sin embargo, en cuanto al porcentaje posible de sodio, ambas fuentes de agua presentaron un valor superior al 50%, lo que las condiciona en este aspecto.

Cuadro 15. Análisis de agua para ambas localidades.

Determinación	S. J. Soto	Escobedo	Unidades
pH	6.85	5.96	-
C.E	0.63	0.65	m/s
Ca	5.3	4.4	meq
Ca + Mg	6.1	5.2	meq
Mg	0.8	0.8	meq
CO ₃	0.5	0	meq
HCO ₃	5.5	2.9	meq
Cl	0.6	1.2	meq
SO ₂₄	0	2.4	meq
ΣAniones	6.6	6.5	meq
Na	0.2	1.3	meq
ΣCationes	6.3	6.5	meq
SE	0.3	2.1	-
SP	0.6	2.4	-
RAS	0.11	0.8	-
C.S.R	0	0	-
P.S.P	66.66	61.9	-

4.4 Análisis estadístico de las variables morfométricas

4.4.1 Comparación de medias para la variable crecimiento

El crecimiento de las plantas fue diferente entre las localidades (Cuadro 16), encontrando mayor altura y diámetro de roseta en Escobedo. Estas diferencias en las variables de crecimiento se atribuyeron al efecto de las Horas Calor Acumuladas (HCA) en cada localidad.

Cuadro 16. Análisis de varianza de incrementos en crecimiento para variables agronómicas de ambas localidades.

Localidad	Inc. Altura (cm)	Inc. Roseta (cm)	Inc. No Hojas
S. J. de Soto	5.010 b	8.675 b	5.045 a
Escobedo	8.974 a	15.062 a	5.772 a
Significancia (p)	0.000*	0.000*	0.185 ns

El tratamiento suelo de bosque (T1), fue el más sobresaliente al tener los mayores valores en ambas localidades para altura, roseta de plántula y número de hojas, mientras que las mezclas de 30 % y 60 % estiércol de cabra con 70% y 40 % suelo de bosque (T3 y T4, respectivamente), mostraron tendencias similares para ambas localidades (Figuras 31, 32 y 33).

En un estudio realizado por López-López *et al.* (2018) con plántulas de *Pinus ayacahuite* utilizando diferentes mezclas con suelo de bosque (pino-encino), composta de estiércol de cabra y lombricomposta de estiércol bovino, con el tratamiento de suelo de bosque encontraron mayor altura y diámetro de tallo por lo que se incrementó significativamente el crecimiento.

El tratamiento correspondiente al suelo agrícola (T2) presentó los valores más bajos en las variables evaluadas. Estos resultados evidencian que este tipo de sustrato, en su estado actual, no proporciona las condiciones edáficas adecuadas

para un desarrollo óptimo de las plántulas, lo cual puede atribuirse a diversas limitaciones intrínsecas.



Figura 31. Incremento de altura.

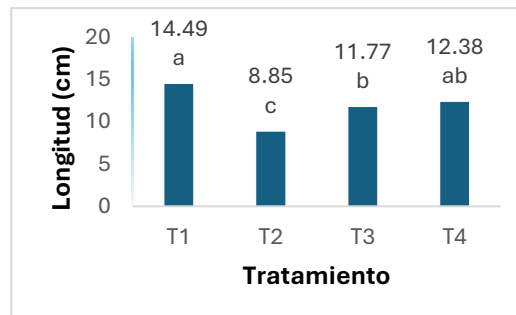


Figura 32. Incremento en roseta.

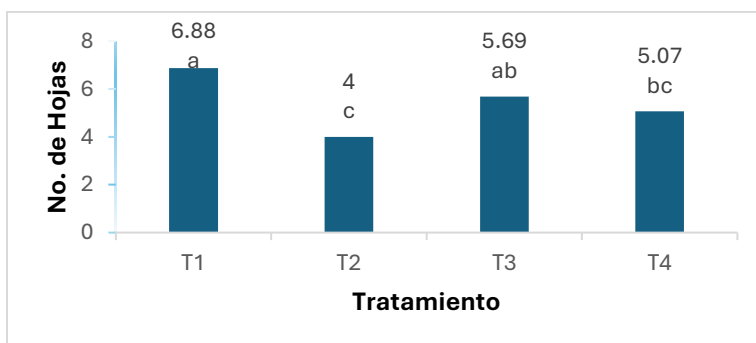


Figura 33. Incremento No. de Hojas.

4.5 Grados brix

El análisis de varianza para los grados brix de la piña de la planta (Cuadro 17) mostró diferencias significativas entre localidades y tratamientos. La comparación de medias de localidades (Cuadro 18) mostró un mayor número de grados brix en la localidad de S. J. de Soto en comparación con Escobedo. Este resultado se puede explicar por medio del gasto energético de las plantas, ya que en la localidad Escobedo se tuvieron mayores temperaturas comparadas con las de S. J. de Soto (Cuadro 8). Pérez y Simpson (2020) mencionan que las altas temperaturas aumentan la respiración, lo que resulta en un mayor gasto de estas reservas de carbohidratos, reduciendo la acumulación de azúcares.

Cuadro 17. Análisis de varianza para grados brix en la piña de la planta.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Localidad	106.778	1	106.778	61.434	0.000
Tratamiento	35.149	3	11.716	6.741	0.002
Localidad * Tratamiento	2.340	3	0.780	0.449	0.721
Error	36.500	21	1.738		
Total corregido	184.828	28			

Cuadro 18. Comparación de medias de localidades para grados brix.

Localidad	Media	Error	Intervalo de confianza	
	° brix	estándar	95%	
			Limite inferior	Limite superior
S. J. de Soto	10.167 a	0.343	9.453	10.880
Escobedo	6.292 b	0.356	5.551	7.032

Estudios han reportado que los agaves tequileros pueden alcanzar niveles de hasta 24-32 °Brix en su madurez, lo cual es crucial para la producción de tequila,

ya que determina el rendimiento de los azúcares fermentables necesarios en este proceso (Bautista-Justo *et al.*, 2001).

En el Cuadro 19 se muestran las medias de grados brix de los tratamientos, el tratamiento de suelo de bosque sobresalió con la mayor concentración de azúcares, esto debido a que el suelo de bosque tuvo el mayor desarrollo de planta en la presente investigación y una mayor acumulación de materia seca, lo que ocasionó una mayor acumulación de azúcares en la piña. En otras investigaciones se ha reportado que los suelos de bosque con alto contenido de materia orgánica mejoran la estructura del suelo y facilitan la absorción de agua y nutrientes, promoviendo la fotosíntesis y el almacenamiento de azúcares en las plantas de agave, lo que aumenta los grados Brix (Weil & Brady, 2016).

Cuadro 19. Comparación de medias de tratamientos para grados brix.

Tratamiento	Media ° brix	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	10.000 a	0.466	9.031	10.969
Suelo agrícola	7.000 b	0.538	5.881	8.119
S.B. + 30% E. C.	7.875 b	0.466	6.906	8.844
S.B. + 60% E. C.	8.042 ab	0.503	6.995	9.089

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.

4.6 Color

En el Cuadro 20 se presentan los colores obtenidos en las dos localidades. El análisis estadístico para probar la hipótesis de independencia de los factores se realizó con la prueba de ji-cuadrada, la cual resultó significativa ($p=0.009$) (Cuadro 21), por lo que se concluye que los colores fueron diferentes en las localidades. En la Figura 34 se observan los colores en la localidad de Escobedo correspondientes a tonos (Hue) más bajos (2.5 GY), comparados con los observados en la localidad de S. J. de Soto, los cuales eran tonos más altos (7.5 GY), estos tonos más bajos están relacionados con colores más opacos en la Figura 35 se muestran las cartas Munsell utilizadas en el análisis.

Cuadro 20. Frecuencias observas de color de hojas por localidad.

Color	Localidad		Total
	S. J. de Soto	Escobedo	
2.5 GY 5/2	0	5	5
2.5 GY 5/4	0	1	1
2.5 GY 6/2	0	4	4
2.5 GY 7/2	0	3	3
7.5 GY 4/2	1	0	1
7.5 GY 4/4	1	0	1
7.5 GY 4/6	1	0	1
7.5 GY 5/2	3	0	3
7.5 GY 5/4	2	0	2
7.5 GY 5/6	1	0	1
7.5 GY 5/8	1	0	1
7.5 GY 6/2	1	0	1
7.5 GY 6/4	2	0	2
7.5 GY 6/6	2	0	2
Total	15	13	28

Cuadro 21. Prueba de ji-cuadrada para localidad x color.

	Valor	gl	Sig
ji-cuadrada de Pearson	28.000	13	.009
Razón de verosimilitud	38.673	13	.000
Número de casos	28		

En el Cuadro 22 se presentan los resultados obtenidos en la localidad de S. J. de Soto. Los tonos observados corresponden a la carta 7.5 GY (Green Yellow) del sistema Munsell. El número 7.5 indica una posición específica en la rueda de color entre los colores verde (G) y amarillo (Y).

El sistema Munsell define el color en términos de tres dimensiones:

Tono: En este caso, 7.5 GY.

Valor: Los valores observados en esta localidad incluyen: 4: Relativamente oscuro. 5: Valor medio. 6: Más claro.

Croma: Los croma encontrados varían entre: 2; Color apagado o grisáceo; 4: Color moderadamente saturado; 6: Color vívido; 8: Color muy brillante e intenso.

La prueba de ji-cuadrada (Cuadro 23) no mostró una diferencia significativa en las frecuencias de color entre los tratamientos ($p > 0.05$). Esto sugiere que no hay una tendencia clara o diferencia estadísticamente significativa en la distribución de valor y croma de las hojas entre los distintos tratamientos.

Es posible que otros factores estén influyendo más en la apariencia del color que los tratamientos aplicados, entre los que se encuentran el riego heterogéneo y las condiciones generales en las que se estableció el experimento en esta localidad.

Cuadro 22. Frecuencias observas de color de hojas por tratamiento en la localidad S. J. de Soto.

Color	Tratamiento				Total
	1.0	2.0	3.0	4.0	
7.5 GY 4/2	1	0	0	0	1
7.5 GY 4/4	0	0	0	1	1
7.5 GY 4/6	0	0	0	1	1
7.5 GY 5/2	0	1	2	0	3
7.5 GY 5/4	1	0	1	0	2
7.5 GY 5/6	0	0	0	1	1
7.5 GY 5/8	0	0	0	1	1
7.5 GY 6/2	0	1	0	0	1
7.5 GY 6/4	1	1	0	0	2
7.5 GY 6/6	1	0	1	0	2
Total	4	3	4	4	15

Cuadro 23. Prueba de ji-cuadrada para determinar frecuencias de color para tratamientos de la localidad S. J. de Soto.

	Valor	gl	Sig
ji-Cuadrada de Pearson	27.292	27	.448
Razón de verosimilitud	29.242	27	.349
Número de casos	15		

En el Cuadro 24 se presentan los resultados obtenidos para color de hoja en la localidad de Escobedo. Los tonos observados corresponden a la carta 2.5 GY del sistema Munsell, donde "2.5 GY" representa un tono que se encuentra en la familia de los verdes amarillentos (GY), con un mayor predominio del verde en comparación con el amarillo.

Como ya se describió anteriormente, el sistema Munsell define el color en tres dimensiones, estos fueron los resultados encontrados:

Los colores observados en la localidad de Escobedo muestran una menor diversidad en comparación con S. J. de Soto. La mayoría de los colores tienen un croma bajo (2) y un valor medio a claro (5, 6 y 7).

Cuadro 24. Frecuencias observas de color de hojas por tratamiento en la localidad Escobedo.

Color	Tratamiento				Total
	1.0	2.0	3.0	4.0	
2.5 GY 5/2	4	0	0	1	5
2.5 GY 5/4	0	0	0	1	1
2.5 GY 6/2	0	2	2	0	4
2.5 GY 7/2	0	1	1	1	3
Total	4	3	3	3	13

La prueba de ji-cuadrada (Cuadro 25) indicó que hay una diferencia significativa en las frecuencias de color entre los tratamientos ($p = 0.050$).

El tratamiento 1 presentó color más oscuro, comparado con los otros tratamientos, asimismo, este tratamiento fue el que observó mayor crecimiento vegetativo y vigor de las plantas, por lo que, con este resultado se evidencia una mayor cantidad de pigmentos fotosintéticos lo que resultó en una mayor actividad fisiológica y fotosintética.

En estudios sobre la variabilidad en el color de hojas, se ha identificado que los tonos más oscuros y opacos (como los observados en Escobedo) suelen estar asociados con condiciones que estimulan una mayor actividad fotosintética, posiblemente debido a una mayor concentración de clorofila que responde a factores como la humedad y nutrientes en el suelo (Zhu *et al.*, 2024).

Cuadro 25. Prueba de ji-cuadrada para determinar frecuencias de color para tratamientos de la localidad Escobedo.

	Valor	gl	Sig
jii-Cuadrada de Pearson	15.600	9	.050
Razón de verosimilitud	18.682	9	.028
Número de casos	13		



Figura 34. Referencia a los tonos de color en hojas de plantas A) Localidad Escobedo, B) Localidad S. J. de Soto.

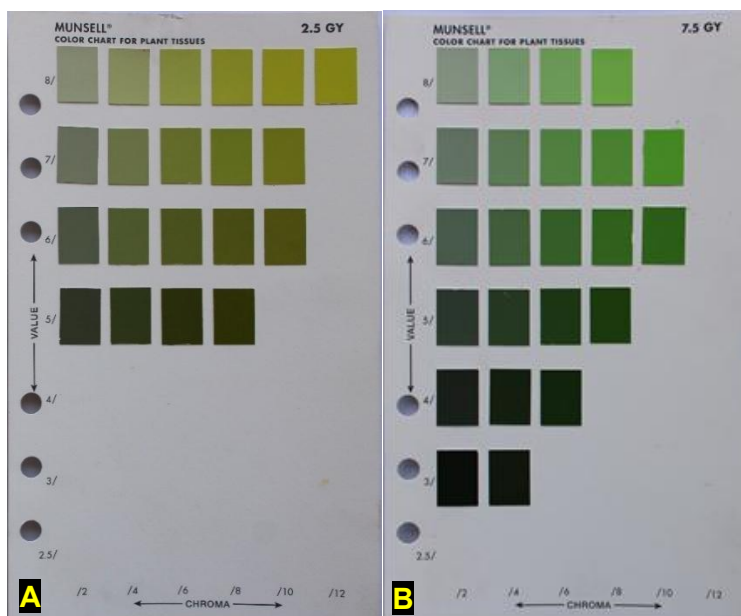


Figura 35. Referencia de las cartas Munsell utilizadas A) Carta 2.5 GY B) Carta 7.5 GY.

4. 7 Altura de planta

El análisis de varianza para la altura de planta mostró diferencias significativas entre localidades y tratamientos mientras que la interacción no fue estadísticamente significativa (Cuadro 26). La comparación de medias de localidades para altura de planta mostró un mayor crecimiento en la localidad Escobedo (Cuadro 27), esto es atribuido a las altas temperaturas que se tienen en dicha localidad, sumado a la cantidad de riegos descrita con anterioridad, estas condiciones favorecen el desarrollo de *Agave* spp., ya que mejoran la absorción de nutrientes y estimulan la actividad fotosintética (Enríquez del Valle *et al.*, 2023). La comparación de medias de tratamientos para esta variable mostró que los tratamientos con suelo de bosque y SB + 60% E.C. tuvieron los mayores valores), lo cual puede explicarse por la mejor estructura del suelo y la mayor disponibilidad de nutrientes que promueven un crecimiento más eficiente del sistema radicular (Pimienta-Barrios *et al.*, 2009). La menor altura en las plantas con suelo agrícola de Marín fue menor que suelo de bosque (Cuadro 28).

Cuadro 26. Análisis de varianza para altura de planta.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Localidad	303.195	1	303.195	79.183	0.000
Tratamiento	41.126	3	13.709	3.580	0.029
Localidad * Tratamiento	17.643	3	5.881	1.536	0.231
Error	91.898	24	3.829		
Total corregido	453.862	31			

Cuadro 27. Comparación de medias de localidades de altura de planta.

Localidad	Media cm	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	12.806 b	.489	11.797	13.816
Escobedo	18.963 a	.489	17.953	19.972

Cuadro 28. Comparación de medias de tratamientos de altura de planta.

Tratamiento	Media cm	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	17.400 a	.692	15.972	18.828
Suelo agrícola	15.088 b	.692	13.660	16.515
S.B. + 30% E.C.	14.538 b	.692	13.110	15.965
S.B. + 60% E.C.	16.513 ab	.692	15.085	17.940

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.

4.8 Materia fresca y seca

4.8.1 Peso fresco de la parte aérea de la planta

Para el peso fresco de la parte aérea de la planta (Figura 36), el análisis de varianza obtuvo diferencias significativas entre las localidades como se describe en el Cuadro 29. La comparación de medias mostró que la localidad de Escobedo tuvo un mayor peso fresco de las plantas, comparada con la de S. J. de Soto (Cuadro 30). En la localidad Escobedo se observaron mayores temperaturas (Cuadro 8), lo que ocasionó mayor crecimiento de la parte aérea en la planta.

En general, las plantas incrementan su crecimiento en función de la temperatura, observándose mayor crecimiento en temperaturas más altas, siempre y cuando no sobrepasen los 35 °C. Cuando la temperatura supera este umbral, se pueden observar efectos negativos como la disminución en la tasa de fotosíntesis, inhibición del crecimiento de brotes y raíces, y daño en la estructura celular (Hasanuzzaman *et al.*, 2013).

Cuadro 29. Análisis de varianza del peso fresco de la parte aérea de la planta.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Localidad	31375.125	1	31375.125	7.409	0.012
Tratamiento	88284.375	3	29428.125	6.949	0.002
Localidad *Tratamiento	11945.375	3	3981.792	0.940	0.437
Error	101633.000	24	4234.708		
Total corregido	233237.875	31			

Cuadro 30. Comparación de medias de localidades de los pesos frescos de la planta.

Localidad	Media gr	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	195.125 b	16.269	161.548	228.702
Escobedo	257.750 a	16.269	224.173	291.327

El análisis de varianza para los tratamientos también marcó diferencias significativas (Cuadro 29). El mayor peso fresco de la planta se observó en el tratamiento suelo de bosque, sin embargo, no fue diferente significativamente a los tratamientos suelo de bosque con composta de cabra. El tratamiento con el menor peso de planta fue el de suelo agrícola procedente del campus Marín N.L. (Cuadro 31).

Cuadro 31. Comparación de medias de tratamientos de peso fresco de la parte aérea de la planta.

Tratamiento	Media gr	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	281.500 a	23.007	234.015	328.985
Suelo agrícola	142.000 b	23.007	94.515	189.485
S.B. + 30% E.C.	256.000 a	23.007	208.515	303.485
S.B. + 60% E.C.	226.250 a	23.007	178.765	273.735

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.



Figura 36. Referencia al peso fresco de la parte aérea de la planta.

4.8.2 Peso seco de la parte aérea de la planta.

El análisis de varianza para el peso seco de la planta (Cuadro 32) no mostró diferencias significativas entre las localidades (Cuadro 33), contrario a lo encontrado en el peso fresco. Este resultado indica que el mayor peso fresco encontrado en la localidad de Escobedo se debió a un mayor contenido de agua en la planta, probablemente por la aplicación de riego previo a la cosecha.

Los resultados fueron diferentes significativamente entre tratamientos, encontrando mayor peso seco en el suelo de bosque, seguido de los tratamientos de suelo de bosque con estiércol de cabra, quedando en último lugar el suelo agrícola de Marín (Cuadro 34). Los mayores pesos secos en los tratamientos con suelo de bosque se explican debido a que el maguey está adaptado a este tipo de suelo, por lo que pudiera estar influyendo el contenido microbiano del suelo afín al sistema radical del maguey (Figura 37), como lo indican estudios que muestran que *Agave lechuguilla* tiene bacterias rizosféricas beneficiosas que mejoran la disponibilidad de nutrientes y favorecen su establecimiento en condiciones áridas (Medina *et al.*, 2021).

Cuadro 32. Análisis de varianza del peso seco parte aérea de la planta.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Localidad	3.505	1	3.505	0.097	0.758
Tratamiento	1287.642	3	429.214	11.877	0.000
Localidad * Tratamiento	141.799	3	47.266	1.308	0.295
Error	867.316	24	36.138		
Total corregido	2300.262	31			

Cuadro 33. Comparación de medias de localidades de los pesos secos parte aérea de la planta.

Localidad	Media gr	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	25.209 a	1.503	22.108	28.311
Escobedo	24.548 a	1.503	21.446	27.649

Cuadro 34. Comparación de medias de tratamientos de pesos secos parte aérea de la planta.

Tratamiento	Media gr	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	33.251 a	2.125	28.865	37.638
Suelo agrícola	15.464 c	2.125	11.077	19.850
S.B. + 30% E.C.	26.314 b	2.125	21.927	30.700
S.B. + 60% E.C.	24.485 b	2.125	20.098	28.872

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.



Figura 37. Referencia al peso seco de la parte aérea de la planta.

4.8.3 Materia orgánica en la parte aérea de la planta

En el Cuadro 35 se muestra el análisis de varianza para el porcentaje de materia orgánica donde se encontró diferencias significativas entre localidades y en la interacción entre localidad-tratamiento, pero no encontrándose entre tratamientos (Cuadro 37). La comparación de medias de localidades (Cuadro 36) mostró los mayores porcentajes de materia orgánica en la localidad de S. J. de Soto. Esto coincide con hallazgos de otras investigaciones que indican que las plantas en altitudes más altas tienden a tener una mayor concentración de materia orgánica en sus tejidos, debido a la necesidad de almacenar más recursos para sobrevivir en condiciones ambientales extremas (Körner, 2007).

Cuadro 35. Análisis de varianza para porcentaje de materia orgánica en la parte aérea de la planta.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Localidad	0.026	1	0.026	129.551	0.000
Tratamiento	0.001	3	0.000	1.041	0.392
Localidad * Tratamiento	0.003	3	0.001	5.388	0.006
Error	0.005	24	0.000		
Total corregido	0.035	31			

Cuadro 36. Comparación de medias de localidades del porcentaje de materia orgánica en la parte aérea de la planta.

Localidad	Media %	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	0.826 a	0.004	0.818	0.833
Escobedo	0.768 b	0.004	0.761	0.775

Cuadro 37. Comparación de medias de tratamientos de porcentaje de materia orgánica en la parte aérea de la planta.

Tratamiento	Media	Error Estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	0.804 a	0.005	0.793	0.814
Suelo agrícola	0.796 a	0.005	0.786	0.807
S.B. + 30% E.C.	0.791 a	0.005	0.781	0.802
S.B. + 60% E.C.	0.790 a	0.005	0.786	0.807

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.

La comparación de medias para porcentaje de materia orgánica de la parte aérea presentó diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada localidad. Para la localidad Escobedo el tratamiento que mayor porcentaje de materia orgánica tuvo fue el suelo de bosque (Cuadro 38). Las investigaciones

realizadas por Calleja y Fernández (2017) muestran que existe una variación significativa en el contenido de materia orgánica del tejido vegetal entre suelos de bosque y suelos agrícolas. En su estudio, los autores observaron que los suelos forestales presentan un mayor porcentaje de materia orgánica en comparación con los suelos agrícolas. Esta diferencia se debe a la acumulación continua de materia orgánica en los ecosistemas forestales, lo que resulta en una mayor calidad del tejido vegetal en estos suelos.

Contrario a lo observado en otros estudios, S. J. de Soto encontró que el tratamiento con los valores más altos de materia orgánica en el tejido vegetal se dio en el suelo agrícola. Este fenómeno puede explicarse por la escasa cantidad de nutrientes presentes en dicho suelo. Como resultado, las plantas no absorbieron estos nutrientes en cantidades significativas, concentrando principalmente agua y moléculas orgánicas en sus tejidos vegetales.

Cuadro 38. Comparación de medias para porcentaje de materia orgánica de la parte aérea de la planta con interacción tratamiento por localidad.

Localidad	Tratamiento	Media	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	Suelo de bosque	0.828 b	0.007	0.813	0.842
	Suelo agrícola	0.843 a	0.007	0.828	0.857
	S.B. + 30% E.C.	0.813 d	0.007	0.798	0.827
	S.B. + 60% E.C.	0.820 c	0.007	0.805	0.835
Escobedo	Suelo de bosque	0.780 a	0.007	0.765	0.795
	Suelo agrícola	0.750 d	0.007	0.735	0.765
	S.B. + 30% E.C.	0.770 c	0.007	0.755	0.785
	S.B. + 60% E.C.	0.773 b	0.007	0.758	0.787

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.

4.8.4 Porcentaje de materia seca de la parte aérea

El análisis de varianza para el porcentaje de materia seca de la parte aérea (Cuadro 39) mostró diferencias significativas entre localidades, tratamientos y la interacción entre ambos factores. La comparación de medias de localidades (Cuadro 40) mostró un mayor porcentaje de materia seca en la localidad de S. J. de Soto en comparación con Escobedo. Este resultado se puede explicar por medio del número de riegos aplicados en cada localidad, de acuerdo como se mencionó anteriormente, el número de riego en la localidad S. J. de Soto fue menor, por lo que el tejido vegetal tenía un menor contenido de humedad lo que condujo a un mayor porcentaje de materia seca.

Las variaciones en la disponibilidad de agua en el suelo son cruciales para la acumulación de la materia seca en las plantas. Los suelos que retienen menos agua, como los forestales, favorecen la acumulación de materia seca en las partes aéreas al promover adaptaciones morfológicas en las plantas. Por otro lado, los suelos agrícolas con mayor retención de humedad pueden limitar esta acumulación. Además, en suelos con menor humedad, se observa un mayor desarrollo del peso seco de la raíz, ya que las plantas invierten en sistemas radicales más profundos. (Kou *et al.*, 2022).

Cuadro 39. Análisis de varianza para porcentaje de materia seca de la parte aérea de la planta.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Localidad	102.237	1	102.237	146.621	0.000
Tratamiento	6.251	3	2.084	2.988	0.050
Localidad * Tratamiento	7.115	3	2.372	3.401	0.034
Error	16.735	24	.697		
Total corregido	132.338	31			

Cuadro 40. Comparación de medias de localidades de porcentaje de materia seca de la parte aérea de la planta.

Localidad	Media	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	13.161 a	.209	12.730	13.591
Escobedo	9.586 b	.209	9.155	10.017

La comparación de medias de tratamientos para porcentaje de materia seca de la parte aérea (Cuadro 41) mostró diferencias significativas, siendo el tratamiento suelo de bosque el que tuvo los valores más altos.

Cuadro 41. Comparación de medias de tratamientos de porcentaje de materia seca de la parte aérea de la planta.

Tratamiento	Media	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	11.871 a	0.295	11.261	12.480
Suelo agrícola	11.754 ab	0.295	11.145	12.364
S.B. + 30% E.C.	10.898 c	0.295	10.289	11.508
S.B. + 60% E.C.	10.969 ab	0.295	10.360	11.579

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.

En el estudio de la interacción ente los factores se compararon las medias de tratamientos en cada localidad (Cuadro 42), en donde se encontró que en S. J. de Soto los tratamientos con mayor porcentaje de materia seca fueron suelo agrícola y suelo de bosque, esto estuvo relacionado con la capacidad del sustrato para retener humedad, considerando que los sustratos antes indicados tienen menor capacidad de retener humedad comparados con los que tienen estiércol de cabra.

Cuadro 42. Comparación de medias para porcentaje de materia seca de la parte aérea de la planta con interacción tratamiento por localidad.

Localidad	Tratamiento	Media	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	Suelo de bosque	13.234 ab	0.418	12.373	14.096
	Suelo agrícola	14.288 a	0.418	13.426	15.150
	S.B + 30% E.C.	12.750 b	0.418	11.888	13.611
	S.B + 60% E.C.	12.370 b	0.418	11.509	13.232
Escobedo	Suelo de bosque	10.507 a	0.418	9.645	11.369
	Suelo agrícola	9.221 b	0.418	8.359	10.083
	S.B + 30% E.C.	9.047 b	0.418	8.185	9.909
	S.B + 60% E.C.	9.568 ab	0.418	8.706	10.430

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.

4.8.5 Porcentaje de cenizas de la parte aérea de la planta

El análisis de varianza para el porcentaje de cenizas mostró diferencias significativas entre localidades y la interacción entre localidad y tratamiento (Cuadro 43), pero no entre tratamientos (Cuadro 45). La localidad de Escobedo mostró un mayor porcentaje de cenizas en comparación con S. J. de Soto (Cuadro 44). Este resultado es atribuido a que las plantas en la localidad de Escobedo tuvieron mayor desarrollo y crecimiento radical, lo que ocasionó una mayor absorción de minerales.

Cuadro 43. Análisis de varianza para porcentaje de cenizas del tejido aéreo.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Localidad	.026	1	.026	129.551	0.000
Tratamiento	.001	3	.000	1.041	0.392
Localidad * Tratamiento	.003	3	.001	5.388	0.006
Error	.005	24	.000		
Total corregido	.035	31			

Cuadro 44. Comparación de medias de localidades para porcentaje de cenizas.

Localidad	Media %	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	0.174 b	0.004	0.167	0.182
Escobedo	0.232 a	0.004	0.225	0.239

Cuadro 45. Comparación de medias de tratamientos para porcentaje de cenizas.

Tratamiento	Media %	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	0.196 a	0.005	0.186	0.207
Suelo agrícola	0.204 a	0.005	0.193	0.214
S.B. + 30% E.C.	0.209 a	0.005	0.198	0.219
S.B. + 60% E.C.	0.204 a	0.005	0.193	0.214

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.

La comparación de medias mostró diferencias significativas entre tratamientos dentro de cada localidad (Cuadro 46). Para S. J. de Soto el tratamiento que sobresalió fue S.B + 30% E.C., seguido del tratamiento SB + 60 % E.C., siendo el último suelo de bosque. El suelo de bosque fue el que tuvo mayor crecimiento y acumulación de materia seca, por lo que el resultado anterior se puede explicar por un efecto de dilución, en donde las plantas más desarrolladas tienen un menor porcentaje de minerales. Para la localidad de Escobedo el tratamiento con mayor contenido de cenizas fue el tratamiento de suelo agrícola, caracterizado por tener una textura arcillosa, es de tipo calcáreo con altas concentraciones de calcio y magnesio, entre otros minerales, además los suelos arcillosos tienen una alta capacidad de intercambio catiónico lo que puede aumentar la disponibilidad de nutrientes para la planta (White & Kirkegaard, 2010).

Cuadro 46. Comparación de medias para porcentaje de cenizas de la planta con interacción tratamiento por localidad.

Localidad	Tratamiento	Media %	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	Suelo de bosque	0.173 c	0.007	0.158	0.187
	Suelo agrícola	0.158 d	0.007	0.143	0.172
	S.B. + 30% E.C.	0.188 a	0.007	0.173	0.202
	S.B. + 60% E.C.	0.180 b	0.007	0.165	0.195
Escobedo	Suelo de bosque	0.220 d	0.007	0.205	0.235
	Suelo agrícola	0.250 a	0.007	0.235	0.265
	S.B. + 30% E.C.	0.230 b	0.007	0.215	0.245
	S.B. + 60% E.C.	0.228 c	0.007	0.213	0.242

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.

4.8.6 Longitud de raíz

El análisis de varianza para la longitud de raíz mostró diferencias significativas entre localidades y tratamientos, pero no en la interacción entre ambos factores (Cuadro 47). La comparación de medias de las localidades mostró una mayor longitud de raíz en Escobedo (Cuadro 48), contrario a lo observado en el

peso seco de raíz, en donde se observó un menor peso seco de raíz en Escobedo. En las plantas de Escobedo se observó un buen crecimiento de la raíz principal, pero con muy pocas raíces secundarias lo que originó sistemas radiculares alargados, pero con poco desarrollo y peso seco, contrario a lo observado en las plantas de S. J. de Soto, en donde el sistema radical tenía abundantes raíces secundarias lo que ocasionó un mayor peso seco de raíz con raíces más compactas y no alargadas (Figura 38). Este resultado se deriva de las condiciones de humedad en ambas localidades, en donde, las plantas en Escobedo tuvieron una mayor frecuencia de riegos y mejores condiciones de humedad comparadas con las de S. J. de Soto, las cuales tuvieron estrés de humedad, lo que obligó a la planta a extender las raíces laterales.

Cuadro 47. Análisis de varianza para la longitud de raíz de la planta.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Localidad	2380.500	1	2380.500	34.974	0.000
Tratamiento	828.701	3	276.234	4.058	0.018
Localidad * Tratamiento	157.707	3	52.569	0.772	0.521
Error	1633.570	24	68.065		
Total corregido	5000.479	31			

Cuadro 48. Comparación de medias de localidades de la longitud de raíz de la planta.

Localidad	Media cm	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	37.219 b	2.063	32.962	41.476
Escobedo	54.469 a	2.063	50.212	58.726

La comparación de medias de tratamientos para longitud de raíz (Cuadro 49) mostró que el tratamiento suelo de bosque tuvo la mayor longitud de raíz, seguido por el tratamiento 3 (S.B. + 30% E.C.), después el tratamiento con suelo agrícola de Marín y por último la composición de S.B. + 60 % E.C. Estos resultados destacan la importancia de la composición del suelo en el crecimiento de las raíces y sugieren que el suelo de bosque es ideal para el desarrollo radicular. Por otro lado, la

proporción de enmiendas orgánicas como el estiércol caprino debe ser cuidadosamente manejada para optimizar el crecimiento de las raíces de la planta, debido a que dosis altas de estiércol incrementan los niveles de salinidad en el suelo. El tratamiento con suelo agrícola, al clasificarse dentro de suelos con textura arcillosa, tiene una alta capacidad de retención de agua debido a su baja porosidad y alta densidad aparente, lo que puede limitar el crecimiento de las raíces debido a la menor aireación y mayor resistencia a la penetración (Dexter, 2004). El análisis de varianza no mostró una interacción significativa entre los factores, por lo que la diferencia entre los tratamientos fue muy semejante en ambas localidades a pesar de que las condiciones del clima de las localidades indujeron diferente desarrollo radical.

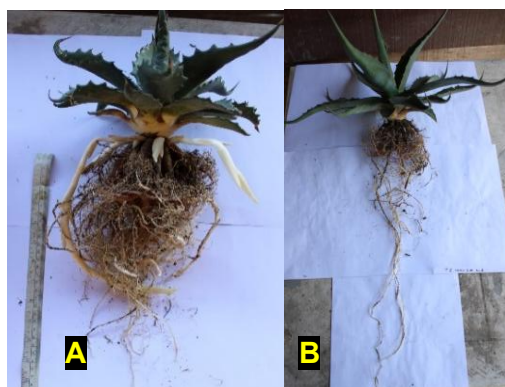


Figura 38. Plantas que muestran el largo y el desarrollo lateral de las raíces. A) Planta localidad S.J de Soto, B) Planta localidad Escobedo.

Cuadro 49. Comparación de medias de tratamientos de longitud de raíz de planta.

Tratamiento	Media cm	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	50.775 a	2.917	44.755	56.795
Suelo agrícola	45.925 ab	2.917	39.905	51.945
S.B. + 30% E.C.	49.113 a	2.917	43.092	55.133
S.B. + 60% E.C.	37.563 b	2.917	31.542	43.583

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.

4.8.7 Peso fresco de raíz

El análisis de varianza para el peso fresco de la raíz (Figura 39) obtuvo diferencias significativas para las localidades, tratamientos y la interacción entre estos factores (Cuadro 50).

Cuadro 50. Análisis de varianza para el peso fresco de raíz de planta.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Localidad	18240.500	1	18240.500	59.821	0.000
Tratamiento	4309.000	3	1436.333	4.711	0.010
Localidad * Tratamiento	3572.500	3	1190.833	3.905	0.021
Error	7318.000	24	304.917		
Total corregido	33440.000	31			

La comparación de medias para las localidades (Cuadro 51) mostró un mayor peso fresco de raíz para la localidad S. J. de Soto. La mayor biomasa fresca de raíz observada en esta localidad puede atribuirse a las condiciones de menor disponibilidad hídrica, lo que induce a las plantas a desarrollar sistemas radiculares más extensos para optimizar la captación de agua. Este comportamiento es consistente con hallazgos que indican que el estrés hídrico incrementa la relación raíz:parte aérea, promoviendo un mayor crecimiento radicular comparado con el crecimiento del follaje (Guan *et al.*, 2022).

En cuanto a la comparación de medias para tratamientos (Cuadro 52) el tratamiento de suelo de bosque seguido por el tratamiento S.B. + 60% E.C., fueron los más sobresalientes.

Para estudiar la interacción entre los factores se realizaron comparaciones de medias de los tratamientos dentro de cada localidad (Cuadro 53), donde se encontró que, en la localidad de S. J. de Soto, los tratamientos con mayor peso fresco de raíz fueron los que tenían suelo de bosque. El tratamiento de suelo agrícola de Marín fue el que obtuvo el menor peso seco de raíz. En la localidad de Escobedo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos.

Estos resultados contrastantes entre las localidades se pueden explicar al efecto de las altas temperaturas en Escobedo, las cuales privilegiaron el crecimiento

aéreo y deprimieron el crecimiento radical. Otro factor que pudo tener influencia en estos resultados es el número de riegos proporcionados en cada localidad, en Escobedo hubo una mayor cantidad de riegos, comparada con los aplicados en la localidad S. J. de Soto; por lo que al estar más restringida la humedad, la planta incrementó el crecimiento de la raíz buscando un mayor contenido de humedad en el suelo.

Cuadro 51. Comparación de medias de localidades de los pesos frescos de la raíz de planta.

Localidad	Media gr	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	72.375 a	4.365	63.365	81.385
Escobedo	24.625 b	4.365	15.615	33.635

Cuadro 52. Comparación de medias de tratamientos de los pesos frescos de la raíz de planta.

Tratamiento	Media gr	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	62.250 a	6.174	49.508	74.992
Suelo agrícola	30.500 b	6.174	17.758	43.242
S.B. + 30% E.C.	47.750 ab	6.174	35.008	60.492
S.B. + 60% E.C.	53.500 a	6.174	40.758	66.242

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.



Figura 39. Registro del peso fresco de raíz.

Cuadro 53. Comparación de medias de peso fresco de raíz con interacción tratamiento por localidad.

Localidad	Tratamiento	Media Gr	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	Suelo de bosque	98.500 a	8.731	80.480	116.520
	Suelo agrícola	39.000 c	8.731	20.980	57.020
	S.B. + 30% E.C.	68.000 b	8.731	49.980	86.020
	S.B. + 60% E.C.	84.000 ab	8.731	65.980	102.020
Escobedo	Suelo de bosque	26.000 a	8.731	7.980	44.020
	Suelo agrícola	22.000 a	8.731	3.980	40.020
	S.B. + 30% E.C.	27.500 a	8.731	9.480	45.520
	S.B. + 60% E.C.	23.000 a	8.731	4.980	41.020

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.

4.8.8 Peso seco de raíz

El análisis de varianza para el peso seco de raíz (Figura 40) tuvo diferencias significativas entre localidades, tratamientos y la interacción entre los factores (Cuadro 54).

Cuadro 54. Análisis de varianza para el peso seco de raíz de planta.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Localidad	572.657	1	572.657	43.492	0.000
Tratamiento	149.639	3	49.880	3.788	0.023
Localidad * Tratamiento	163.083	3	54.361	4.129	0.017
Error	316.009	24	13.167		
Total corregido	1201.388	31			

La comparación de medias mostró un mayor peso seco de raíz para la localidad de S. J. de Soto, comparada con la de Escobedo (Cuadro 55). Como se mencionó anteriormente, el mayor peso seco en la localidad S. J. de Soto se pudo deber al efecto de número de riegos, dado que en esta localidad la frecuencia del riego fue menor, por lo que las plantas estuvieron sujetas a estrés de humedad en algunos periodos, lo que condujo a la planta a incrementar el crecimiento de la raíz para buscar agua. Diversos estudios han demostrado que, en condiciones de

humedad limitada, las plantas tienden a desarrollar un sistema radical más extenso como estrategia adaptativa para mejorar la captación de agua (Comas *et al.*, 2013; Lynch, 2019). Esta respuesta morfofisiológica se alinea con lo observado en este estudio, donde la escasez relativa de agua en S. J. de Soto favoreció una mayor biomasa radical comparada con Escobedo, donde el riego fue más frecuente.

Cuadro 55. Comparación de medias de localidades de pesos secos de raíz de planta.

Localidad	Media gr	Error Estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	15.551 a	.907	13.678	17.423
Escobedo	7.090 b	.907	5.218	8.962

La comparación de medias entre tratamientos en general y dentro de cada localidad tuvo una tendencia similar a los resultados encontrados para el peso fresco. En la localidad de S. J. de Soto sobresalieron los tratamientos con suelo de bosque y en la localidad de Escobedo no se encontraron diferencias significativas (Cuadros 56 y 57).

Cuadro 56. Comparación de medias de tratamientos de pesos secos de raíz de planta.

Tratamiento	Media gr	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	14.539 a	1.283	11.891	17.187
Suelo agrícola	8.606 b	1.283	5.958	11.254
S.B. + 30% E.C.	10.415 b	1.283	7.767	13.063
S.B. + 60% E.C.	11.721 ab	1.283	9.073	14.369

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.



Figura 40. Muestras de raíces y registro del peso seco de raíz.

Cuadro 57. Comparación de medias de peso seco de raíz con interacción tratamiento por localidad.

Localidad	Tratamiento	Media Gr	Error estándar	Intervalo de confianza 95 %	
				Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	Suelo de bosque	21.765 a	1.814	18.020	25.510
	Suelo agrícola	9.865 c	1.814	6.120	13.610
	S.B. + 30% E.C.	13.498 bc	1.814	9.753	17.242
	S.B. + 60% E.C.	17.075 ab	1.814	13.330	20.820
Escobedo	Suelo de bosque	7.313 a	1.814	3.568	11.057
	Suelo agrícola	7.348 a	1.814	3.603	11.092
	S.B. + 30% E.C.	7.333 a	1.814	3.588	11.077
	S.B. + 60% E.C.	6.368 a	1.814	2.623	10.112

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.

4.8.9 Porcentaje de materia seca de la raíz

El análisis de varianza para el porcentaje de materia seca de la raíz (Cuadro 58) reveló diferencias significativas entre las localidades, mientras que las diferencias entre tratamientos y la interacción entre localidades y tratamientos no fueron significativas.

Cuadro 58. Análisis de varianza para porcentaje de materia seca de raíz.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Localidad	401.896	1	401.896	20.826	0.000
Tratamiento	163.642	3	54.547	2.827	0.060
Localidad * Tratamiento	6.220	3	2.073	0.107	0.955
Error	463.152	24	19.298		
Total corregido	1034.910	31			

La comparación de medias (Cuadro 59) mostró diferencias significativas en el porcentaje de materia seca de raíz entre las localidades de S. J. de Soto y Escobedo. Al igual que con la parte aérea, el mayor porcentaje de materia seca de raíz en Escobedo comparado con S. J. de Soto puede estar relacionado con el tipo de raíz de las plantas de la localidad Escobedo, el cual se caracterizó por un mayor desarrollo de la raíz principal y muy pocas raíces secundarias, esta raíz principal es más leñosa con un menor contenido de humedad comparas con las raíces secundarias.

Cuadro 59. Comparación de medias de localidades del porcentaje de materia seca de raíz.

Localidad	Media	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	22.058 b	1.098	19.792	24.325
Escobedo	29.146 a	1.098	26.880	31.413

En el Cuadro 60 se muestran las medias de los tratamientos en cuanto al porcentaje de materia seca de raíz, que, aunque no se obtuvo diferencia significativa en el análisis de varianza ($p= 0.060$).

Cuadro 60. Comparación de medias de tratamientos del porcentaje de materia seca de raíz.

Tratamiento	Media	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	25.590 a	1.553	22.385	28.796
Suelo agrícola	29.238 a	1.553	26.033	32.444
S.B. + 30% E.C.	23.212 a	1.553	20.007	26.418
S.B. + 60% E.C.	24.368 a	1.553	21.163	27.574

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.

4.9 Análisis de tejido foliar

En los análisis foliares se determinaron las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu y Mn en el tejido vegetal, expresando los resultados en porcentaje para los macronutrientes y en ppm para los micronutrientes. Para cada uno de los nutrientes se realizaron análisis de varianza, considerando como factores a los tratamientos y las localidades, cuando se encontraron diferencias significativas, se realizaron comparaciones múltiples de medias. En el Cuadro 61 se presentan los resultados de la comparación de medias de macro y micronutrientes del análisis foliar de *Agave gentryi* L. En el Cuadro 62 se muestran la comparación de medias por localidad.

4.9.1 Nitrógeno (N)

El análisis de varianza para la concentración de nitrógeno (Cuadro 2A) mostró diferencias significativas ($p=0.003$) para tratamientos (Cuadro 4A) sin embargo, para localidad (Cuadro 3A) no hubo diferencia significativa ($p=0.229$). La menor concentración de nitrógeno se observó en el tratamiento de suelo agrícola, este resultado está relacionado con el menor contenido de materia orgánica, comparado con los sustratos de suelo de bosque.

La adición de enmiendas orgánicas ha demostrado incrementar la disponibilidad de nitrógeno, ya que favorecen la actividad microbiana en el suelo, causando mineralización y por lo tanto dejando el N en forma disponible para las plantas, lo que mejora la absorción de este nutriente (Getachew Agegnehu *et al.*, 2015).

4.9.2 Fósforo (P)

El análisis de varianza para la concentración de P (Cuadro 5A) no mostró diferencias significativas entre los tratamientos ($p = 0.084$), ni entre localidades ($p = 0.931$), ni en la interacción entre tratamiento y localidad ($p = 0.563$). Esto sugiere que la descomposición de la materia orgánica en los tratamientos con suelo de bosque y composta no fue suficiente para incrementar la concentración de fósforo en el tejido vegetal, comparados con el suelo agrícola.

Estos resultados son congruentes con lo reportado por Feng *et al.* (2021), quienes observaron que la incorporación de composta, aunque mejora la estructura del suelo y aporta algunos nutrientes, no siempre conlleva un aumento significativo en la disponibilidad de fósforo para las plantas. Esto se debe a que la liberación de fósforo está condicionada por diversos factores, como el tipo de suelo y las características específicas de la materia orgánica utilizada.

4.9.3 Potasio (K)

El análisis de varianza (Cuadro 6A) reveló diferencias significativas ($p = 0.000$) tanto entre las localidades (Cuadro 7A) como entre los tratamientos (Cuadro 8A) para el porcentaje foliar de K. La interacción entre tratamiento y localidad (Cuadro 9A) también fue significativa ($p = 0.043$), lo que indica que la concentración de K depende de las condiciones específicas de cada tratamiento y localidad. La mayor concentración de K se observó en el tratamiento de 60% suelo de bosque más 40 % estiércol caprino (EC), mientras que la menor se observó en el suelo de bosque. Estos resultados muestran que el suelo de bosque tiene bajas concentraciones de K, comparado con el suelo agrícola de Marín, sin embargo, cuando al suelo de bosque se le añadió estiércol caprino, el porcentaje de K se incrementó significativamente en el tejido. Esto sugiere que el estiércol caprino aporta cantidades significativas de K a la solución del suelo, lo cual concuerda con estudios previos que muestran que el estiércol y otras fuentes orgánicas mejoraron la nutrición de las plantas de maíz (*Zea mays* L.) al aumentar la capacidad de intercambio catiónico del suelo, lo que facilita la absorción de K por las raíces para que sea aprovechado por la planta (Perelman *et al.*, 2021; Kandil *et al.*, 2020).

En este estudio también se encontró que los tratamientos adicionados con estiércol caprino tuvieron mayores porcentajes de sustancias húmicas, por lo que el mayor intercambio catiónico inducido por estas sustancias mejoró la nutrición con potasio (Cuadro 12).

Este proceso es clave, ya que las sustancias húmicas mejoran la retención de nutrientes esenciales como el potasio, facilitando su disponibilidad para las plantas. Diversos estudios respaldan que el aumento en la materia orgánica y las

sustancias húmicas derivadas del estiércol animal incrementan la capacidad de retención de nutrientes del suelo, lo que favorece una mejor nutrición vegetal y crecimiento más saludable, especialmente en sistemas agrícolas sostenibles (Rakhi y Abdullah, 2022; Bashir *et al.*, 2021).

Las localidades también tuvieron efecto sobre la concentración de K en el tejido vegetal, encontrando que en Escobedo la concentración de K fue de 4.021 %, comparada con la de S. J. de Soto, la cual fue de 2.510 %. Esta importante diferencia se puede explicar por el efecto de la temperatura en la capacidad de las raíces para absorber K, además, el K se encuentra en mayor concentración en las células radicales y requiere absorción activa, lo que demanda a la planta invertir energía para su absorción. Por lo tanto, las plantas con un desarrollo vegetativo más avanzado disponen de mayores fotosintatos, que suministran la energía necesaria para este propósito.

La interacción entre los factores también resultó significativa para la concentración de K. En el Cuadro 63 se presenta la comparación de medias para los tratamientos dentro de cada localidad. En ambas localidades los resultados tuvieron la misma tendencia, aunque hay algunas variaciones en las comparaciones de medias. En ambas localidades el tratamiento de suelo de bosque tuvo la menor concentración de K, sin embargo, el suelo agrícola tuvo una menor concentración en S. J. de Soto, comparado con la localidad de Escobedo. Los tratamientos con estiércol caprino tuvieron altas concentraciones de K en las dos localidades.

4.9.4 Calcio (Ca)

El análisis de varianza para la concentración de calcio (Cuadro 10A) mostró diferencias significativas tanto entre las localidades ($p = 0.004$) (Cuadro 11A). como entre los tratamientos ($p = 0.001$) (Cuadro 12A). Sin embargo, no hubo interacción significativa entre tratamiento y localidad ($p = 0,353$). La mayor concentración de Ca se encontró en el suelo de bosque, mientras que los tratamientos con adición de estiércol compostado y el suelo agrícola presentaron menores concentraciones. El suelo de bosque presentó una alta concentración de Ca (5.98 %, Cuadro 13), mayor que la de los otros sustratos y el suelo agrícola. Además, las plantas en el sustrato

de suelo de bosque tuvieron un mayor tamaño, por lo que el sistema radical estuvo más desarrollado (Cuadro 49), lo que propició una mayor absorción de Ca. La absorción de Ca en las raíces se concentra en las puntas no suberizadas, donde el agua y los nutrientes entran a las células vegetales. Esto se alinea con estudios que han demostrado que un mayor desarrollo radical mejora la absorción de este macronutriente por las plantas (Dayod *et al.*, 2010).

En cuanto a las diferencias entre localidades, la concentración de Ca en el tejido vegetal fue mayor en la localidad de Escobedo, comparada con la de S. J. de Soto. Este resultado está relacionado con la concentración de Ca en el agua y con la frecuencia de riegos. En Escobedo hubo una mayor frecuencia del riego, por lo que la planta tenía más Ca disponible debido al contenido de Ca en el agua, por lo que hubo una mayor disponibilidad de este elemento. Una mayor frecuencia de riego puede aumentar la movilidad y disponibilidad de Ca (Dayod *et al.*, 2010).

4.9.4 Magnesio (Mg)

El análisis de varianza para la concentración de Mg (Cuadro 13A) mostró diferencias significativas entre las localidades ($p = 0.001$) (Cuadro 14A) y los tratamientos ($p = 0.032$) (Cuadro 15A) pero no se encontró una interacción significativa entre tratamiento y localidad ($p = 0.106$). Las mayores concentraciones de Mg se observaron en Escobedo y en el tratamiento de 40 % suelo de bosque más 60% estiércol caprino (E.C.). Estudios recientes han demostrado que la aplicación de estiércol de cabra no solo incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo, lo que mejora la retención de nutrientes, sino que también fomenta la actividad microbiana y la asimilación de nutrientes como el Mg (González-Torres *et al.*, 2024).

La mayor concentración de Mg en la localidad de Escobedo se debe al contenido de Mg en el agua de riego y a que las plantas recibieron un mayor número de riegos. En el caso del tratamiento con mayor Mg se explica por la mineralización del estiércol caprino.

4.9.5 Fierro (Fe)

El análisis de varianza para la concentración de Fe (Cuadro 16A) mostró diferencias significativas tanto entre las localidades ($p = 0.001$) (Cuadro 17A) como entre los tratamientos ($p = 0.000$) (Cuadro 18A), con una interacción significativa entre ambos factores ($p = 0.006$) (Cuadro 19A). La concentración de Fe fue considerablemente mayor en el suelo agrícola de Escobedo, mientras que los tratamientos con suelo de bosque, en general, presentaron los valores más bajos. Este resultado se puede explicar por las bajas temperaturas que se presentan en la localidad de S. J. de Soto, debido a que la absorción de Fe disminuye al bajar las temperaturas. Sin embargo, las plantas tienen diferentes mecanismos para absorber nutrientes bajo condiciones adversas, como es el caso de bajar el pH de la rizosfera, excreción de sideróforos, excreción de ácidos orgánicos, etc., factores que pudieran presentarse diferencialmente entre los tratamientos y marcar una diferencia en la absorción de Fe.

En trabajos recientes (Molnár *et al.*, 2023) se ha encontrado que debido a la enorme demanda de Fe en la rizosfera y a su escasa accesibilidad en los suelos, existe una intensa competencia entre los organismos vivos por este nutriente concordando en lo encontrado en este trabajo. Donde los tratamientos suelo de bosque y compostas con estiércol de cabra tuvieron una mayor actividad de microorganismos.

4.9.6 Cobre (Cu)

El análisis de varianza para la concentración de Cu (Cuadro 20A) indicó diferencias significativas entre localidades ($p = 0,001$) (Cuadro 21A) y los tratamientos ($p = 0,004$) (Cuadro 22A). aunque no hubo interacción significativa entre tratamiento y localidad ($p = 0,217$). La mayor concentración de Cu se encontró en el suelo agrícola de Escobedo, mientras que los suelos de bosque con adición de estiércol presentaron niveles más bajos. El tratamiento de suelo agrícola presentó mayor acumulación de Cu, lo que puede deberse a las interacciones de nutrientes-microorganismos-suelo que se presenta en la rizosfera. Además, las plantas pueden movilizar Cu mediante la exudación de compuestos orgánicos en la

rizosfera, que incrementan la disponibilidad de nutrientes, incluso en suelos alcalinos (Brunetto *et al.*, 2016). Respecto a la diferencia entre las localidades, la mayor concentración de Cu en Escobedo se puede deber a la frecuencia de riego y a la extensión de la raíz.

4.9.7 Zinc (Zn)

La concentración de Zn no mostró diferencias significativas en el análisis de varianza (Cuadro 23A) entre localidades ($p=0.699$) (Cuadro 24A) ni entre tratamientos ($p=0.143$) (Cuadro 25A). Aunque el mayor contenido de Zn se encontró en suelo de bosque, con las menores concentraciones en los tratamientos en donde se aplicó estiércol caprino.

4.9.8 Manganeseo (Mn)

El análisis de varianza para la concentración de Mn (Cuadro 26A) mostró diferencias significativas entre localidades ($p = 0.000$) (Cuadro 27A), tratamientos ($p = 0.000$) (Cuadro 28A), y en la interacción entre ambos ($p = 0,006$) (Cuadro 29A). La concentración de Mn fue mayor en Escobedo, lo que se puede explicar por la frecuencia de riegos y a una mayor extensión de la raíz.

Los tratamientos también difirieron significativamente, encontrando la mayor concentración de Mn en el suelo de bosque, que es donde se presentó el mayor tamaño de la planta, lo que puede coincidir con un mayor crecimiento y número de raicillas que exploran un mayor volumen de suelo.

Estudios recientes han demostrado que el Mn en suelos es altamente dependiente de reacciones redox y el pH, lo que significa que su biodisponibilidad cambia con la química del suelo. Los suelos de bosque, más ricos en materia orgánica y posiblemente con mayor actividad microbiana, pueden haber promovido una mayor absorción de Mn, ya que las raíces en crecimiento exploran un volumen mayor de suelo, como se observó en este estudio. Este crecimiento radicular en suelos de bosque puede estar correlacionado con una mayor disponibilidad de Mn debido a su acumulación en la capa superior (Li *et al.*, 2019).

Cuadro 61. Comparación de medias de macro y microelementos del análisis foliar de *Agave gentryi* L. por tratamiento.

Tratamiento	N%	P%	K%	Ca%	Mg %	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm
1	1.769 a	0.259 a	1.858 c	7.946 a	.670 ab	109.700 b	3.926 ab	47.133 a	37.229 a
2	1.214 b	0.321 a	3.175 b	6.499 b	.618 b	316.534 a	4.793 a	41.835 a	24.643 b
3	1.645 a	0.266 a	3.673 b	6.301 b	.664 ab	118.829 b	3.150 b	42.213 a	22.673 b
4	1.901 a	0.320 a	4.358 a	5.720 b	.746 a	123.691 b	3.271 b	36.950 a	23.515 b

T1: Suelo de bosque, T2: Suelo agrícola, T3: S.B. + 30% E.C. T4: S.B + 60% E.C. (S.B: Suelo de bosque; E.C.: Estiércol Caprino), N: Nitrógeno, P: Fósforo, K: Potasio, Ca: Calcio, Mg: Magnesio, Fe: Hierro, Cu: Cobre, Zn: Zinc y Mn: Manganeseo.

Cuadro 62. Comparación de medias de macro y microelementos del análisis foliar de *Agave gentryi* L. por localidad.

Localidad	N%	P%	K%	Ca%	Mg %	Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm
S.J. de Soto	1.557 a	0.291 a	2.510 b	6.102 b	.620 b	123.22 b	3.212 b	41.454 a	22.407 b
Escobedo	1.708 a	0.293 a	4.021 a	7.131 a	.732 a	211.16 a	4.358 a	42.611 a	31.623 a

N: Nitrógeno, P: Fósforo, K: Potasio, Ca: Calcio, Mg: Magnesio, Fe: Hierro, Cu: Cobre, Zn: Zinc y Mn: Manganeseo.

Cuadro 63. Comparación de medias de macro y microelementos del análisis foliar de *Agave gentryi* L. con interacción tratamiento por localidad.

Localidad	Tratamiento	K %	Fe ppm	Mn ppm
S. J. de Soto	Suelo de bosque	1.278 c	81.823 b	27.818 a
	Suelo agrícola	1.898 c	200.188 a	15.948 b
	S.B. + 30% E.C.	3.008 b	122.408 ab	21.998 ab
	S.B. + 60% E.C.	3.858 a	88.443 b	23.865 ab
Escobedo	Suelo de bosque	2.438 b	137.578 b	46.640 a
	Suelo agrícola	4.453 a	432.880 a	33.338 b
	S.B. + 30% E.C.	4.338 a	115.250 b	23.348 c
	S.B. + 60% E.C.	4.858 a	158.940 b	23.165 c

S.B.= Suelo de bosque; E.C. = Estiércol Caprino.

4.10 Horas calor acumuladas (HCA).

De acuerdo con los datos presentados en la Figura 41, la localidad de Escobedo registró la mayor acumulación de horas calor, alcanzando un valor máximo de 855.6 HCA durante el mes de julio. En contraste, en la localidad de San Joaquín, el mayor valor de acumulación se observó en el mes de junio, con 375 HCA. El análisis comparativo de medias entre localidades para las variables de altura y tamaño de roseta reveló diferencias altamente significativas ($p < 0.01$), observándose un mayor desarrollo vegetativo en la localidad de Escobedo. Este incremento en el crecimiento se asoció directamente con la mayor acumulación de horas calor registrada en dicha localidad.

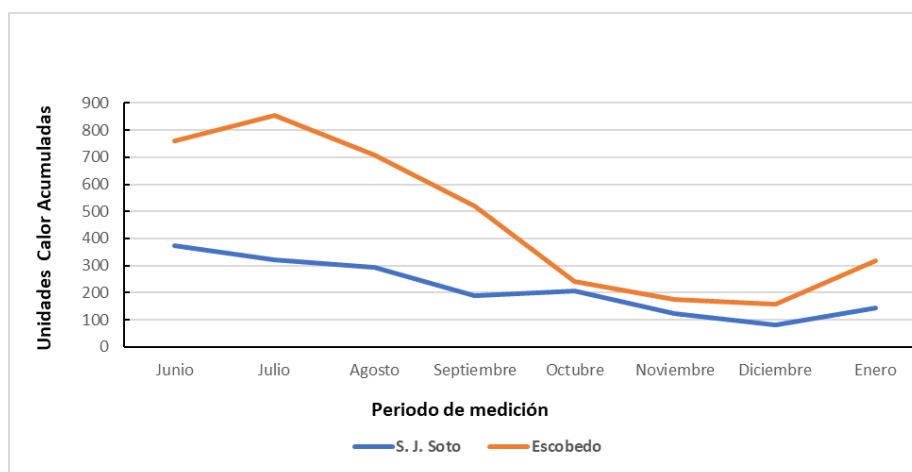


Figura 41. Horas Calor Acumuladas (HCA) por periodo de medición para ambas localidades de junio 2023 a enero 2024.

4.10.1 Comparación de Horas Calor Acumuladas (HCA) y crecimiento entre las localidades.

El análisis de varianza para la comparación de unidades calor acumuladas por día (HCAD) mostró diferencias significativas para las localidades, con mayor número de horas calor en Escobedo (13.753 HCAD), comparadas con las observadas en la localidad de S. J. de Soto (6.870 HCAD). El crecimiento de las plantas también fue diferente entre las localidades (Cuadro 64), encontrando mayor altura, diámetro de roseta y número de hojas en Escobedo, aunque se observó

diferencia significativa únicamente para altura. Estas diferencias en las variables de crecimiento se atribuyeron al efecto de Unidades Calor Acumuladas Diariamente.

Cuadro 64. Resultados del análisis de varianza para ambas localidades en incrementos de altura, roseta y número de hojas.

Localidad	Inc. Altura (cm)	Inc. Roseta (cm)	Inc. No hojas
S. J. de Soto	11.263 b	32.569	15.375
Escobedo	25.350 a	47.264	21.250
P	0.000	0.080	0.139

4.10.2 Correlaciones de Horas Calor Acumuladas (HCA) con crecimiento en la localidad S. J. de Soto

En el cuadro 65 se observa que el análisis de correlación para las horas calor acumuladas por período mostraron relaciones significativas para el incremento en el diámetro de la roseta y en el número de hojas, encontrando coeficientes positivos ($r=0.389$, $p=0.028$; $r=0.384$, $p=0.030$, respectivamente), lo que indica que a una mayor cantidad de horas calor acumuladas en el período, se incrementó el crecimiento de las plantas evidenciado por el diámetro de la roseta y el número de hojas. Sin embargo, la relación entre las horas calor acumuladas no tuvieron relación significativa con los incrementos de altura, esto debido a la forma en que se manifiesta el crecimiento de las plantas de maguey, en donde, en los primeros períodos de desarrollo vegetativo, la altura no se incrementa comparado con el diámetro de la roseta y el número de hojas.

Cuadro 65. Análisis de correlaciones para incrementos de altura (IncAlt), roseta (IncRos), y número de hojas (IncNoHojas) con Horas Calor Acumuladas (HCA) en la localidad S. J. de Soto.

	IncAlt	IncRos	IncNo Hojas	HCA
IncAlt	1	.214	.266	-.116
IncRos	.214	1	.421*	.389*
IncNoHojas	.239	.016	1	.028
HCA	.266	.421*	.384*	1
	.141	.016	.030	
	-.116	.389*	.384*	
	.527	.028	.030	

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

4.10.3 Correlaciones de Horas Calor Acumuladas (HCA) con crecimiento en la localidad Escobedo

En el Cuadro 66 se observa que el análisis de correlación para las horas calor acumuladas por período mostró relaciones significativas para el incremento en el número de hojas, encontrando coeficientes positivos ($r=0.391$, $p=0.027$), lo que indica que a una mayor cantidad de horas calor acumuladas en el período, se incrementó el crecimiento de las plantas evidenciado por el número de hojas.

De acuerdo con resultados reportados por De la Rosa (2013), existe una correlación positiva entre la longitud de tallo con las unidades calor en variedades de rosa, lo cual indica que a mayor acumulación de horas calor, la planta presenta un incremento mayor en crecimiento, ya que la temperatura estimula el desarrollo de las plantas.

Cuadro 66. Análisis de correlaciones para Incrementos de altura (IncAlt), roseta (IncRos) y número de hojas (IncNoHojas) con Horas Calor Acumuladas (HCA) en la localidad Escobedo.

	IncAlt	IncRos	IncNo Hojas	HCA
	1	-.010	.241	.198
IncAlt		.955	.184	.277
	-.010	1	.480**	-.015
IncRos	.955		.005	.936
	.241	.480**	1	.391*
IncNoHojas	.184	.005		.027
	.198	-.015	.391*	1
HCA	.277	.936	.027	

** . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

* . La correlación es significante al nivel 0,05 (bilateral).

5. CONCLUSIONES

Con base en los resultados de esta investigación, se concluye que el mayor vigor de las plántulas de *Agave gentryi* L. fue en el sustrato de suelo de bosque, reflejándose en un mayor crecimiento en altura, diámetro de roseta y número de hojas en comparación con las mezclas con estiércol caprino y el suelo agrícola. Las combinaciones con suelo de bosque y estiércol caprino mostraron un desarrollo intermedio, lo que sugiere que el estiércol mejora parcialmente las propiedades del sustrato, aunque sin igualar la eficacia del suelo de bosque por sí solo. En contraste, el suelo agrícola presentó las menores tasas de crecimiento, lo que indica limitaciones edáficas que restringen el desarrollo de las plántulas.

El análisis de crecimiento en ambas localidades evidenció un desarrollo vegetativo significativamente mayor en Escobedo, particularmente en altura y diámetro de roseta, lo cual se relaciona con su menor altitud y, por ende, una mayor acumulación de Horas Calor Acumuladas (HCA). Estas condiciones térmicas más cálidas favorecen la actividad fisiológica y la mineralización de la materia orgánica, lo que contribuye a un crecimiento más acelerado de las plántulas. No obstante, también se observó una reducción en el contenido de grados Brix en esta localidad, lo cual representa una limitación importante para la producción de mezcal, dado que un menor contenido de azúcares puede afectar la calidad del destilado.

El fertilizante orgánico no tuvo efectos significativos en el crecimiento de raíz entre los tratamientos comparado con el testigo.

El análisis de tejido foliar reveló que la concentración de nutrientes en *Agave gentryi* L. está influenciada principalmente por el tipo de sustrato utilizado y, en algunos casos, por la localidad de cultivo. Se observaron diferencias significativas en la concentración de nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y hierro entre tratamientos, lo que demuestra que los sustratos orgánicos, especialmente aquellos con adición de estiércol caprino, mejoran la disponibilidad y absorción de nutrientes en la planta. El estiércol caprino, al incrementar la actividad microbiana y la capacidad de intercambio catiónico del suelo, favoreció particularmente la absorción

de potasio y magnesio. Asimismo, el suelo de bosque propició mayores concentraciones de calcio debido a un mejor desarrollo radical. Por otro lado, la concentración de fósforo no presentó diferencias significativas, lo que sugiere que su liberación en estos sistemas depende de factores adicionales al tipo de sustrato. La localidad también tuvo un papel relevante en la disponibilidad de algunos nutrientes, como el potasio, calcio, magnesio y hierro, debido a diferencias en la frecuencia de riego y la composición del agua. Estos hallazgos destacan la importancia del manejo del sustrato y del entorno hídrico en la nutrición mineral del agave, aportando información valiosa para optimizar su producción en vivero bajo condiciones variables.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alanís-Flores, G. J., y González-Álvarez, M. (2011). Formas de uso de los magueyes (*Agave spp.*) en Nuevo León, México. *Revista Salud Pública y Nutrición, Edición Especial*, (5), 287-299.

Álvarez-Sánchez, M. E., Velázquez-Mendoza, J., Maldonado-Torres, R., Almaguer-Vargas, G., & Solano-Agama, A. L. (2010). Diagnóstico de la fertilidad y requerimiento de cal de suelos cultivados con agave azul (*Agave tequilana* Weber). *Terra Latinoamericana*, 28(3), 287-293.

AOAC. (2005). Métodos oficiales de análisis (18ª ed.). Asociación de Químicos Analíticos Oficiales.

Arellano-Perusquía, A., Bañuelos-Hernández, B., Urquieta-Ramírez, L., Albarrán-Tamayo, F., Aguilar-Ruiz, C. A., González-Márquez, M. A., Junquera-Martínez, S., & Cruz-Hernández, A. A. (2019). Mexican Indigenous Species with Agroecological Uses. IntechOpen EBooks. <https://doi.org/10.5772/intechopen.83400>

Agave gentryi B. Ullrich | eFloraMex - Flora de México en línea. (2016). Unam.mx. https://efloramex.ib.unam.mx/cdm_dataportal/taxon/8b31ee39-058f-4ab2-9089-511d84e7a52e

Angiosperm Phylogeny Group. (2009). An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2), 105-121.

Bautista-Justo, M., García-Oropeza, L., Salcedo-Hernández, R., & Parra-Negrete, L. A. (2001). Azúcares en agaves (*Agave tequilana* Weber) cultivados en el Estado de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 11(1), 33-38. <https://doi.org/10.15174/au.2001.325>

Bashir, O., Ali, T., Baba, Z.A., Rather, G.H., Bangroo, S.A., Mukhtar, S.D., Naik, N., Mohiuddin, R., Bharati, V., & Bhat, R.A. (2021). Soil organic matter and its impact on soil properties and nutrient status. In: Dar, G.H., Bhat, R.A., Mehmood,

M.A., Hakeem, K.R. (eds.), *Microbiota and Biofertilizers*, Vol 2: Ecofriendly Tools for Reclamation of Degraded Soil Environs. *Springer International Publishing*, Cham, pp. 129–59. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_7

Brunetto, G., Bastos de Melo, G. W., Terzano, R., Del Buono, D., Astolfi, S., Tomasi, N., Pii, Y., Mimmo, T. & Cesco, S. (2016). Copper accumulation in vineyard soils: Rhizosphere processes and agronomic practices to limit its toxicity. *Chemosphere*, 162, 293–307. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.104>

Calleja, M. A., & Fernández, M. A. (2017). "Efectos de los diferentes tipos de suelo en el contenido de materia orgánica en cultivos de maíz en zonas subtropicales." *Revista de Agricultura y Suelos*, 29(3), 445-456. <https://doi.org/10.1234/ra.2017.0455>

Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., & Aguilar-Santelises, A. (2000). Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas agrícolas, plantas y ECP. (2nd ed.). México: Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola.

Carvajal Muñoz, J. S., & Mera Benavides, A. C. (2010). Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción + limpia*, 5(2), 77-96.

Comas, L. H., Becker, S. R., Von Mark, V. C., Byrne, P. F., & Dierig, D. A. (2013). Root traits contributing to plant productivity under drought. *Frontiers in Plant Science*, 4, 442. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00442>

Consejo Regulador del Tequila (CRT) (2025). Estadísticas. Recuperado el 21 de febrero del 2025 de [Crt.org.mx](https://www.crt.org.mx). <https://www.crt.org.mx/EstadisticasCRTweb/>

Corral, J. A. R., Barrios, E. P., & Hernández, J. Z. (2002). Regiones térmicas óptimas y marginales para el cultivo de Agave tequilana en el estado de Jalisco. *Agrociencia*, 36(1), 41-53.

Crespo, G. (2015). Factores que influyen en el reciclaje de nutrientes en pastizales permanentes, avances en el desarrollo de su modelación. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 49(1): 1-10.

Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Bugarín-Montoya, R., & Juárez-López, P. (2013). Sustratos en la horticultura. Substrates in Horticulture.

Davis, S. C., & Ortiz-Cano, H. G. (2023). Lessons from the history of Agave: ecological and cultural context for valuation of CAM. *Annals of Botany*, 132(4), 819–833. <https://doi.org/10.1093/aob/mcad072>

Dexter, A. R. (2004). Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma*, 120(3-4), 201-214. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.004>

Dayod, M., Tyerman, S. D., Leigh, R. A., & Gilliam, M. (2010). Calcium storage in plants and the implications for calcium biofortification. *Journal of Experimental Botany*, 61(13), 3519–3530. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq316>

De la Rosa Torres, M. I. (2013). IDENTIFICACIÓN DE ESTADOS FENOLÓGICOS Y DETERMINACION DE UNIDADES CALOR EN EL CULTIVO DE ROSA (Rosa x híbrida) EN LA REGIÓN FLORICOLA DEL ESTADO DE MEXICO.

Eguiarte, L. E., Jiménez, O. A., Aguirre-Planter, E., Scheinvar, E., Niza Gámez, Gasca-Pineda, J., Castellanos-Morales, G., Moreno-Letelier, A., & Souza, V. (2021). Evolutionary ecology of Agave: distribution patterns, phylogeny, and coevolution (an homage to Howard S. Gentry). *American Journal of Botany*, 108(2), 216–235. <https://doi.org/10.1002/ajb2.1609>

Esparza Ibarra, E. L., Violante González, J., Monks, S., Cadena Iñiguez, J., Araujo Andrade, C., & Rössel Kipping, E. D. (2015). Los agaves mezcaleros del altiplano Potosino y Zacatecano.

Enríquez del Valle, J. R., Rodríguez-Ortiz, G., Ruiz Luna, J., Pacheco Ramírez, A. J., & Vásquez Vásquez, L. (2023). Crecimiento y condición nutrimental de plantas micropropagadas de *Agave angustifolia* abonadas y fertirrigadas en vivero. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 5(2), 106–115.

Feng, X., Sun, X., Zhou, W., Zhang, W., Che, F., & Li, S. (2021). The Effects of green waste compost on soil N, P, K, and organic matter fractions in forestry soils:

elemental analysis evaluation. *RSC Advances*, 11(51), 31983–31991. <https://doi.org/10.1039/d1ra04986k>

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. *Terra Latinoamericana*, 41.

García-Mendoza, A. (2004). Agaváceas. En A. García-Mendoza, M. J. Ordóñez & M. Briones (Eds.), *Biodiversidad de Oaxaca* (pp. 159-169). México: Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Biología/Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza/World Wildlife Fund.

Gentry, H. S. (1982). *Agaves of Continental North America*. Univ. Arizona Press, Tucson, Arizona.

Getachew Agegnehu, Bass, A. M., Nelson, P. N., & Bird, M. I. (2015). Benefits of biochar, compost and biochar–compost for soil quality, maize yield and greenhouse gas emissions in a tropical agricultural soil. *The Science of the Total Environment*, 543, 295–306. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.054>

Google Earth. (2024). Ubicación de Escobedo, N.L. y San Joaquín de Soto, Aramberri, N.L. [Imágenes de satélite]. Google. <https://earth.google.com> (consultado el 13 de enero de 2024)

González Álvarez, M. (2005). Revisión taxonómica de la sección Salmianae Berger del género *Agave* L.(*Agavaceae*). Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León.

González-Torres, G. Y., Bernardino-Nicanor, A., Fernández-Avalos, S., Acosta-García, G., José Mayolo Simitrio Juárez-Goiz, & González-Cruz, L. (2024). Effects of Nopal and Goat Manure on Soil Fertility and the Growth, Yield and Physical Characteristics of Tomato and Carrot Plants. *Agronomy*, 14(6), 1221–1221. <https://doi.org/10.3390/agronomy14061221>

Guan, J., Sun, X., Chen, S., & Zhang, H. (2022). Drought-induced plasticity in root-to-shoot ratio enhances plant survival. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1085409. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1085409>

Gutiérrez-Vázquez, M.H., Méndez-González, J., Flores-López, C. (2012). Caída de hojarasca en plantaciones de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus cembroides* Zucc., en Coahuila, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(2), 123-133.

Hassan, Q. K., Charles, P. A., Bourque, F. R. M., & William, R. (2007). Spatial mapping of growing degree days: an application of MODIS-based surface temperatures and enhanced vegetation index. *Journal of Applied Remote Sensing*, 1, 1.

Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R., & Fujita, M. (2013). Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *International journal of molecular sciences*, 14(5), 9643-9684.

Heal, O. W., Anderson, J. M., & Swift, M. J. (1997). Plant litter quality and decomposition: an historical overview. En: G. Cadiszy, K. E. Giller (Eds.), *Driven by nature: Plant litter quality and decomposition*. University Press, Cambridge, UK, 409p.

Hernández Castro, E., López-Sandoval, Y. Y., Escobar Álvarez, J. L., Ramírez-Reynoso, O., Maldonado-Peralta, M. D. L. Á., & Valenzuela-Lagarda, J. L. (2021). Análisis morfométrico de semilla y desarrollo de plántulas de maguey Sacatoro (*Agave angustifolia* Haw.). *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 8(3).

IBM Corp. (2021). IBM SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. IBM Corp.

Jakab, G., Vancsik, A., Filep, T., Madarász, B., Zacháry, D., Ringer, M., Noémi Ujházy, & Szalai, Z. (2022). Soil organic matter characterisation using alkali and water extraction, and its relation to soil properties. *Geoderma Regional*, 28, e00469–e00469. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2021.e00469>

Julca, O. A., Meneses, F. F., Blas, S. R., & Bello, A. S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. IDESA (Chile), 24, 49-61.

Kandil, E. E., Abdelsalam, N. R., Mansour, M. A., Ali, H. M., & Siddiqui, M. H. (2020). Potentials of organic manure and potassium forms on maize (*Zea mays* L.) growth and production. *Scientific Reports*, 10(1), 8752. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65749-9>

Kou, X., Han, W., & Kang, J. (2022). Responses of root system architecture to water stress at multiple levels: A meta-analysis of trials under controlled conditions. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1085409>

Körner, C. (2007). The use of 'altitude' in ecological research. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(11), 569-574. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.09.006>.

Lavado, R. (2012). Origen del compost, proceso de compostaje y potencialidad de uso. I, 3-12. Ed. U.N. Río Negro-O.G.E.

Li, J., Jia, Y., Dong, R., Huang, R., Liu, P., Li, X., Wang, Z., Liu, G., & Chen, Z. (2019). Advances in the Mechanisms of Plant Tolerance to Manganese Toxicity. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(20), 5096–5096. <https://doi.org/10.3390/ijms20205096>

Limas, E. D. C. A., López, V. N., Carreón, J. T., Houle, R. V., & Hernández, B. A. M. (2025). Impacto ecológico por el uso de leña en una comunidad de alta montaña en Tamaulipas, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 22(1), 1-18.

López, C. F. L. (2022). Los destilados de agave en México. Revibec: *Revista iberoamericana de economía ecológica*, 35(3), 21-38.

López-Hernández, J. M., González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R. G., Cantú-Silva, I., Gómez-Meza, M. V., Pando-Moreno, M., & Estrada-Castillón, A. E. (2013). Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de Nuevo León, México. *Polibotánica*, 35, 41–64.

López López, B., Gálvez Arce, P., Calleja Peláez, B., Méndez González, J., & Ríos Camey, J. M. (2018). Sustratos orgánicos en la germinación y crecimiento de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* (Roezl) Shaw en vivero. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(49), 110-124.

Lynch, J. P. (2019). Root phenotypes for improved nutrient capture: an underexploited opportunity for global agriculture. *New Phytologist*, 223(2), 548–564. <https://doi.org/10.1111/nph.15738>

Martínez Ramírez, S., Trinidad Santos, A., Robles, C., Galvis Spinola, A., Hernández Mendoza, T. M., Santizo Rincón, J. A., & Pedro Santos, E. C. (2012). Crecimiento y sólidos solubles de *Agave potatorum* Zucc. inducidos por riego y fertilización. *Revista fitotecnica mexicana*, 35(1), 61-68.2021

Mettler-Toledo. (s.f.). Brix and the determination of sugar concentration. Fisher Scientific. Recuperado de Brix Determination Technical Bulletin.

Medina-Galván, M. I. (2014). Determinación de la actividad antimicrobiana y antioxidante de extractos del escapo floral de *Agave salmiana*.

Medina de la Rosa, G., García-Oliva, F., Alpuche-Solís, Á. G., Cesaré Ovando-Vázquez, & López-Lozano, N. E. (2021). The nutrient-improvement bacteria selected by *Agave Lechuguilla* T. and their role in the rhizosphere community. *FEMS Microbiology Ecology*, 97(11). <https://doi.org/10.1093/femsec/fiab137>

Molnár, Z., Solomon, W., Mutum, L., & Janda, T. (2023). Understanding the Mechanisms of Fe Deficiency in the Rhizosphere to Promote Plant Resilience. *Plants*, 12(10), 1945.

Monther Mohumad Tahat, Kholoud Alananbeh, Othman, Y., & Leskovar, D. I. (2020). Soil Health and Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 12(12), 1–26. <https://doi.org/10.3390/su121248590>

Olivares-Campos, M. A., Hernández-Rodríguez, A., Vences-Contreras, C., Jáquez-Balderrama, J. L., & Ojeda-Barrios, D. (2012). Worm compost and dairy

cattle manure compost as fertilisers and in soil improvement. *Universidad y ciencia*, 28(1), 27-37.

Olivera-Triste, M. A., Ramírez-Albores, J. E., & Encina-Domínguez, J. E. (2025). Murciélagos del sureste de Coahuila. *Therya ixmana*, 4(1), 39-40.

Perelman, A., Imas, P., & Bansal, S. K. (2021). Role of Potassium for Improving Nutrient Use Efficiency in Agriculture. 397–420. https://doi.org/10.1007/978-981-16-5199-1_13

Pérez-López, A. V., & Simpson, J. (2020). The Sweet Taste of Adapting to the Desert: Fructan Metabolism in Agave Species. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00324>

Pérez, M., Jiménez, S., Ebrahimzadeh, A., Verdejo, M., Chaves, A., & Lao, T. (2008). Propuesta de una metodología para la determinación del color del tejido vegetal. *Actas de Horticultura*, (52).

Pimienta-Barrios, E., Zañudo-Hernández, J., & López-Alcocer, E. (2009). Efecto de las micorrizas arbusculares en el crecimiento, fotosíntesis y anatomía foliar de plantas jóvenes de *Agave tequilana*. *Acta Botanica Mexicana*, (89), 63–78. <https://doi.org/10.21829/abm89.2009.306>

Prasad, R., & Power, J. F. (1997). Soil Fertility Management for Sustainable Agriculture. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida. 356 p.

Radimax Boost – Novagro México. (2022). [Novagromexico.com.https://novagromexico.com/fertilizantes/especialidades/radimax-boost/](https://novagromexico.com/fertilizantes/especialidades/radimax-boost/)

Rakhi, N.N., & Abdullah-Al-Jubayer (2022). Animal Manure for Soil Fertility. In: Mahajan, S., Varma, A. (eds) Animal Manure. *Soil Biology*, vol 64. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-97291-2_9

Reynoso-Santos, R. (2016). Áreas potenciales para el cultivo del agave (*Agave americana* L.) en la meseta Comiteca, Chiapas. *Agro productividad*, 9(2).

Rocamontes-Morales, J. A., Ortega, J., & Castellanos-Morales, G. (2025). Una historia sobre murciélagos y flores. *Therya ixmana*, 4(1), 47-49.

Rocha-Loredo, A.G., Ramírez, M.N. (2009). Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de pino-encino en Chiapas, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 84, 1-12.

Ruíz-Corral, J.; Medina, G.; González, I.; Flores, H.; Ramírez, G.; Ortiz, C.; Byerly, K.; & Martínez, R. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. 2da Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). México, DF.

Sánchez, S., Crespo, G., & Hernández, M. (2008). Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales. *Pastos y Forrajes*, 31(2), 99-118.

Sánchez-Morales, Nahum (2021). Programa integral para la conservación del murciélago magueyero (*Leptonycteris nivalis*) en el sur de Nuevo León .

Santiago Cubas, M. C. (2021). Efectos del tipo de estiércol en la evolución de su co-compostaje con residuos vegetales y en la calidad agronómica del compost obtenido. Dspace.umh.es. <http://hdl.handle.net/11000/26609>

Scheinvar, G. E. (2017). Agave, mezcal tradicional, cultura y diversidad. Oikos, Instituto de Ecología, UNAM, p. 10.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021 SEMARNAT-2000 antes NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. D. F., México: SEGOB.

Thiede J., & Govaerts, R. (2017). New combinations in Agave (*Asparagaceae*): *A. amica*, *A. nanchititlensis*, and *A. quila*. *Phytotaxa*, 306(3), 237. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.306.3.7>

Torres-García, I., Rendón-Sandoval, F. J., Blancas, J., Casas, A., & Moreno-Calles, A. I. (2019). The genus *Agave* in agroforestry systems of Mexico. *Botanical Sciences*, 97(3), 263–290. <https://doi.org/10.17129/botsoci.2202>

Trejo, L., Soriano, D., Romano-Grande, E., Sánchez-Carmona, B., & Dávila-Navarro, D. E. (2023). Diversity of reproductive characters, seed set, and viability of *Agave* seeds used for pulque production and their wild relatives in Tlaxcala, Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71(6), 2877–2903. <https://doi.org/10.1007/s10722-023-01803-5>

Villaseñor, J. L. (2016). Checklist of the native vascular plants of Mexico. *Revista mexicana de biodiversidad*, 87(3), 559-902.

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29–38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

Wander, M.M., Stinner, B.R., & Traina, S.J. (1994). Organic and conventional management effects on biologically active soil organic matter pools. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 1130-1139. doi:10.2136/sssaj1994.03615995005800040018x

Weil, R., & Brady, N.C. (2016). *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). Pearson Education Limited: Edinburgh Gate, Harlow, Essex CM20 2JE, England. 1104 pages. ISBN 1-292-16223-6.

White, P. J., & Kirkegaard, J. A. (2010). The distribution and capture of water and nutrients in relation to species, rooting depth, and root density. *New Phytologist*, 147(2), 275-302. doi:10.1046/j.1469-8137.2000.00664.x.

Zhu, P.-K., Zeng, M.-Y., Lin, Y.-H., Tang, Y., He, T.-Y., Zheng, Y.-S., & Chen, L.-Y. (2024). Variability in Leaf Color Induced by Chlorophyll Deficiency: Transcriptional Changes in Bamboo Leaves. *Current Issues in Molecular Biology*, 46(2), 1503–1515. <https://doi.org/10.3390/cimb46020097>

7. ANEXOS

Cuadro 1A. Entrevistas a productores de mezcal de la comunidad La Canoa, Aramberri, N.L. septiembre 2021 (Encuesta elaborada en colaboración con Ing. Abigail Gámez Rodríguez y Dra. Marisol González Delgado).

6	5	4	3	2	1	No. Orden
Más de 20 años	1-5 años 50%p 6-10	de 6 a 10 años	de 11 a 15 años	-	8 años	Edad de las plantas
300 m	1-2 km	1 km	1 km	3 km	1 km	Distancia plantación-casa
Maguey quiotillo	Maguey criollo	cogollo delgado	Maguey verde	Maguey quiotillo	Maguey verde	Nombre del maguey
Mayo-Agosto	Febrero-Marzo	Mayo	Abril		Marzo-julio	Época de floración
Mezcal	Aguamiel, mezcal,	Aguamiel, mezcal,	Aguamiel, mezcal,	Aguamiel, mezcal	Mezcal	Uso maguey
10 años	3 - 4 años	8 años	-	-	4 años	Edad del maguey productivo
150-200	150	100	95	100	200	Magueyes producción
500 ml depende	700 ml a 1 L	80 L en 100 magueyes	80-120 L en 95	1 L aprox.	80 L en 200 magueyes	Litros de aguamiel/día
No	Primeros 2 meses	si	No, primero poca, luego	Si	No, primero poca, luego	La cantidad es constante
No	No	No se deja que la	No	No	No, hace 10 años se	Repoblación de maguey
No	No relevante	No	No	No	No	Magueyes sin capar
25 años	8 años	80 años localidad, 15 años el	15 años sin etiqueta	6 años sin etiqueta	60 años	Tiempo del negocio
\$60 a \$70 a granel	\$60-70 granel	\$70 granel \$130	\$ 60 o \$100-150	\$60-70 granel	1L \$130 etiquetada	Precio mezcal

Análisis de tejido foliar

1. Nitrógeno

Cuadro 2A. Análisis de varianza del contenido de nitrógeno.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Tratamiento	2.130	3	.710	5.961	.003
Localidad	.182	1	.182	1.524	.229
Tratamiento * Localidad	.885	3	.295	2.475	.086
Error	2.859	24	.119		
Total corregido	6.055	31			

Cuadro 3A. Comparación de medias de localidades del contenido de nitrógeno.

Localidad	Media %	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	1.557 a	.086	1.379	1.735
Escobedo	1.708 a	.086	1.529	1.886

Cuadro 4A. Comparación de medias de tratamientos del contenido de nitrógeno.

Tratamiento	Media %	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	1.769 a	.122	1.517	2.021
Suelo agrícola	1.214 b	.122	.962	1.466
S.B. + 30% E.C.	1.645 a	.122	1.393	1.897
S.B. + 60% E.C.	1.901 a	.122	1.649	2.153

2. Fosforo

Cuadro 5A. Análisis de varianza del contenido de fosforo.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Tratamiento	.027	3	.009	2.497	.084
Localidad	.005	1	.005	.008	.931
Tratamiento * Localidad	.008	3	.003	.697	.563
Error	.087	24	.004		
Total	.122	31			

3. Potasio

Cuadro 6A. Análisis de varianza del contenido del contenido de potasio.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Tratamiento	26.790	3	8.930	28.018	.000
Localidad	18.271	1	18.271	57.325	.000
Tratamiento * Localidad	3.014	3	1.005	3.152	.043
Error	7.649	24	.319		
Total corregido	55.725	31			

Cuadro 7A. Comparación de medias de localidades del contenido de potasio.

Localidad	Media %	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	2.510 b	.141	2.219	2.801
Escobedo	4.021 a	.141	3.730	4.313

Cuadro 8A. Comparación de medias de tratamientos del contenido de potasio.

Tratamiento	Media %	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	1.858 c	.200	1.446	2.269
Suelo agrícola	3.175 b	.200	2.763	3.587
S.B. + 30% E.C.	3.673 b	.200	3.261	4.084
S.B. + 60% E.C.	4.358 a	.200	3.946	4.769

Cuadro 9A. Comparación de medias del contenido de potasio con interacción tratamiento por localidad.

Localidad	Tratamiento	Media %	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	Suelo de bosque	1.278 c	.282	.695	1.860
	Suelo agrícola	1.898 c	.282	1.315	2.480
	S.B. + 30% E.C.	3.008 b	.282	2.425	3.590
	S.B. + 60% E.C.	3.858 a	.282	3.275	4.440
Escobedo	Suelo de bosque	2.438 b	.282	1.855	3.020
	Suelo agrícola	4.453 a	.282	2.425	3.590
	S.B. + 30% E.C.	4.338 a	.282	3.755	4.920
	S.B. + 60% E.C.	4.858 a	.282	4.275	5.440

4. Calcio

Cuadro 10A. Análisis de varianza del contenido de calcio.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Tratamiento	21.482	3	7.161	8.365	.001
Localidad	8.477	1	8.477	9.903	.004
Tratamiento * Localidad	2.929	3	.976	1.141	.353
Error	20.544	24	.856		
Total corregido	53.432	31			

Cuadro 11A. Comparación de medias de localidades del contenido de calcio.

Localidad	Media %	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	6.102 b	.231	5.624	6.579
Escobedo	7.131 a	.231	6.654	7.609

Cuadro 12A. Comparación de medias de tratamientos del contenido de calcio.

Tratamiento	Media %	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	7.946 a	.327	7.271	8.621
Suelo agrícola	6.499 b	.327	5.824	7.174
S.B. + 30% E.C.	6.301 b	.327	5.626	6.976
S.B. + 60% E.C.	5.720 b	.327	5.045	6.395

5. Magnesio

Cuadro 13A. Análisis de varianza del contenido de magnesio.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Tratamiento	.068	3	.023	3.458	.032
Localidad	.100	1	.100	15.260	.001
Tratamiento * Localidad	.045	3	.015	2.271	.106
Error	.157	24	.007		
Total corregido	.370	31			

Cuadro 14A. Comparación de medias de localidades del contenido de magnesio.

Localidad	Media ppm	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	.620 b	.020	.578	.662
Escobedo	.732 a	.020	.690	.774

Cuadro 15A. Comparación de medias de tratamientos del contenido de magnesio.

Tratamiento	Media ppm	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	.670 ab	.029	.617	.735
Suelo agrícola	.618 b	.029	.558	.677
S.B. + 30% E.C.	.664 ab	.029	.605	.723
S.B. + 60% E.C.	.746 a	.029	.687	.805

6. Fierro

Cuadro 16A. Análisis de varianza del contenido de fierro.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Tratamiento	238716.860	3	79572.287	19.953	.000
Localidad	61877.223	1	61877.223	15.516	.001
Tratamiento * Localidad	62673.871	3	20891.290	5.239	.006
Error	95711.953	24	3987.998		
Total corregido	458979.907	31			

Cuadro 17A. Comparación de medias de localidades del contenido de fierro.

Localidad	Media	Error	Intervalo de confianza	
	ppm	estándar	95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	123.215 b	15.788	90.631	155.799
Escobedo	211.162 a	15.788	178.578	243.746

Cuadro 18A. Comparación de medias de tratamientos del contenido de fierro.

Tratamiento	Media	Error	Intervalo de confianza	
	ppm	estándar	95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	109.700 b	22.327	63.619	155.781
Suelo agrícola	316.534 a	22.327	270.453	362.615
S.B. + 30% E.C.	118.829 b	22.327	72.748	164.910
S.B. + 60% E.C.	123.691 b	22.327	77.610	169.772

Cuadro 19A. Comparación de medias del contenido de fierro con interacción tratamiento por localidad.

Localidad	Tratamiento	Media ppm	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	Suelo de bosque	81.823 b	31.575	16.654	146.991
	Suelo agrícola	200.188 a	31.575	135.019	265.356
	S.B. + 30% E.C.	122.408 ab	31.575	57.239	187.576
	S.B. + 60% E.C.	88.443 b	31.575	23.274	153.611
Escobedo	Suelo de bosque	137.578 b	31.575	72.409	202.746
	Suelo agrícola	432.880 a	31.575	367.712	498.048
	S.B. + 30% E.C.	115.250 b	31.575	50.082	180.418
	S.B. + 60% E.C.	158.940 b	31.575	93.772	224.108

7. Cobre

Cuadro 20A. Análisis de varianza del contenido de cobre.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Tratamiento	13.617	3	4.539	5.781	.004
Localidad	10.511	1	10.511	13.388	.001
Tratamiento * Localidad	3.755	3	1.252	1.594	.217
Error	18.843	24	.785		
Total corregido	46.726	31			

Cuadro 21A. Comparación de medias de localidades del contenido de cobre.

Localidad	Media ppm	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	3.212 b	.222	2.755	3.669
Escobedo	4.358 a	.222	3.901	4.815

Cuadro 22A. Comparación de medias de tratamientos del contenido de cobre.

Tratamiento	Media ppm	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	3.926 ab	.313	3.280	4.573
Suelo agrícola	4.793 a	.313	4.146	5.439
S.B. + 30% E.C.	3.150 b	.313	2.503	3.797
S.B. + 60% E.C.	3.271 b	.313	2.625	3.918

8. Zinc

Cuadro 23A. Análisis de varianza del contenido de zinc.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Tratamiento	415.306	3	138.435	1.987	.143
Localidad	10.695	1	10.695	.153	.699
Tratamiento * Localidad	234.885	3	78.295	1.124	.359
Error	1672.464	24	69.686		
Total corregido	2333.349	31			

Cuadro 24A. Comparación de medias de localidades del contenido de zinc.

Localidad	Media ppm	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	41.454 a	2.087	37.147	45.762
Escobedo	42.611 a	2.087	38.303	46.918

Cuadro 25A. Comparación de medias de tratamientos del contenido de zinc.

Tratamiento	Media ppm	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	47.133 a	2.951	41.041	53.224
Suelo agrícola	41.835 a	2.951	35.744	47.926
S.B. + 30% E.C.	42.213 a	2.951	36.121	48.304
S.B. + 60% E.C.	36.950 a	2.951	30.859	43.041

9 Manganeseo

Cuadro 26A. Análisis de varianza del contenido de manganeso.

FV	SC	GL	CM	F	Sig.
Tratamiento	1128.454	3	376.151	9.210	.000
Localidad	679.422	1	679.422	16.635	.000
Tratamiento * Localidad	638.600	3	212.867	5.212	.006
Error	980.252	24	40.844		
Total corregido	3426.728	31			

Cuadro 27A. Comparación de medias de localidades del contenido de manganeso.

Localidad	Media %	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	22.407 b	1.598	19.109	25.704
Escobedo	31.623 a	1.598	28.325	34.920

Cuadro 28A. Comparación de medias de tratamientos del contenido de manganeso.

Tratamiento	Media %	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Suelo de bosque	37.229 a	2.260	32.565	41.892
Suelo agrícola	24.643 b	2.260	19.979	29.306
S.B. + 30% E.C.	22.673 b	2.260	18.009	27.336
S.B. + 60% E.C.	23.515 b	2.260	18.852	28.178

Cuadro 29A. Comparación de medias del contenido de manganeso con interacción tratamiento por localidad.

Localidad	Tratamiento	Media ppm	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
S. J. de Soto	Suelo de bosque	27.818 a	3.195	21.222	34.413
	Suelo agrícola	15.948 b	3.195	9.352	22.543
	S.B. + 30% E.C.	21.998 ab	3.195	15.402	28.593
	S.B. + 60% E.C.	23.865 ab	3.195	17.270	30.460
Escobedo	Suelo de bosque	46.640 a	3.195	40.045	53.235
	Suelo agrícola	33.338 b	3.195	26.742	39.933
	S.B. + 30% E.C.	23.348 c	3.195	16.752	29.943
	S.B. + 60% E.C.	23.165 c	3.195	16.570	29.760

Cuadro 30A. Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes abril 2023 en ambas localidades.

Día	Localidad					
	S. J. de Soto			Escobedo		
	T° Min	T° Max	Horas Calor	T° Min	T° Max	Horas Calor
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10		21			21	
11	17	21	8.0	17	21	8.0
12	16	29	11.5	16	29	11.5
13	11	23	6.0	11	23	6.0
14	16	37	15.5	16	37	15.5
15	19	21	9.0	19	21	9.0
16	19	18	7.5	19	18	7.5
17	15	22	7.5	15	22	7.5
18	16	24	9.0	16	24	9.0
19	21	25	12.0	21	25	12.0
20	22	36	18.0	22	36	18.0
21	21	28	13.5	21	28	13.5
22	20	28	13.0	20	28	13.0
23	25	15	9.0	25	15	9.0
24	13	19	5.0	13	19	5.0
25	14	27	9.5	14	27	9.5
26	16	30	12.0	16	30	12.0
27	20	30	14.0	20	30	14.0
28	18	21	8.5	18	21	8.5
29	16	21	7.5	16	21	7.5
30	16	34	14.0	16	34	14

Cuadro 31A. Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes mayo 2023 en ambas localidades.

Día	Localidad					
	S. J. de Soto			Escobedo		
	T° Min	T° Max	Horas Calor	T° Min	T° Max	Horas Calor
1	11	29	9.0	13	23	7.0
2	12	30	10.0	18	23	9.5
3	13	28	9.5	21	25	12.0
4	13	32	11.5	22	34	17.0
5	14	19	5.5	23	31	16.0
6	13	28	9.5	21	37	18.0
7	13	29	10.0	24	26	14.0
8	14	33	12.5	22	26	13.0
9	13	32	11.5	18	39	17.5
10	10	32	10.0	19	27	12.0
11	10	27	7.5	22	25	12.5
12	11	26	7.5	24	27	14.5
13	10	28	8.0	20	24	11.0
14	9	26	6.5	21	27	13.0
15	9	26	6.5	22	28	14.0
16	6	26	5.0	21	38	18.5
17	8	30	8.0	32	26	18.0
18	9	29	7.5	19	37	17.0
19	13	23	5.0	21	28	13.5
20	15	31	11.0	23	27	14.0
21	16	31	12.0	18	24	10.0
22	12	23	8.5	19	30	13.5
23	13	24	7.0	23	27	14.0
24	13	28	9.5	26	28	16.0
25	14	24	7.5	23	31	16.0
26	14	26	9.0	21	26	12.5
27	11	25	8.5	23	26	13.5
28	10	21	5.0	19	36	16.5
29	9	28	8.0	19	36	16.5
30	13	29	8.0	19	24	10.5
31	9	25	8.0	20	25	11.5

Cuadro 32A. Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes junio 2023 en ambas localidades.

Día	Localidad					
	S. J. de Soto			Escobedo		
	T° Min	T° Max	Horas Calor	T° Min	T° Max	Horas Calor
1	14.7	25.0	8.85	23.0	24.0	12.50
2	18.2	25.9	11.05	23.0	29.0	15.00
3	19.2	23.7	10.45	28.0	31.0	18.50
4	23.0	22.3	11.65	19.0	32.0	14.50
5	18.1	22.0	9.05	21.1	39.8	19.45
6	21.2	26.3	12.75	20.1	38.0	18.05
7	20.1	24.6	11.35	22.6	39.2	19.90
8	22.4	23.3	11.85	23.7	40.5	21.10
9	21.4	27.1	13.25	23.1	42.7	21.90
10	20.3	23.0	10.65	24.6	40.5	21.50
11	19.4	27.3	12.35	24.5	40.6	21.55
12	14.7	27.0	9.85	25.9	43.1	23.50
13	19.0	32.2	14.60	26.2	43.9	24.05
14	17.6	35.3	15.45	24.0	43.7	22.85
15	13.4	37.7	14.55	25.3	45.1	24.20
16	12.6	35.0	12.80	24.5	43.4	22.95
17	10.7	38.0	13.35	24.0	41.3	21.65
18	17.0	36.0	15.50	25.3	45.9	24.60
19	14.1	30.0	11.05	24.8	46.7	24.75
20	15.0	36.5	14.75	24.1	46.7	24.40
21	13.9	35.9	13.90	23.3	47.7	24.50
22	12.3	41.9	16.10	25.7	43.6	23.65
23	12.1	35.3	12.70	24.8	43.3	23.05
24	13.4	36.3	13.85	25.2	41.9	22.55
25	10.1	35.2	11.65	24.1	43.3	22.70
26	9.7	35.3	11.50	24.5	41.7	22.10
27	9.3	32.2	9.75	24.3	41.7	22.00
28	17.6	32.6	14.10	23.3	41.7	21.50
29	10.3	32.8	10.55	24.6	40.1	21.35
30	12.1	32.2	11.15	25.4	39.2	21.30

Cuadro 33A. Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes julio 2023 en ambas localidades.

Día	Localidad					
	S. J. de Soto			Escobedo		
	T° Min	T° Max	Horas Calor	T° Min	T° Max	Horas Calor
1	19.2	35.3	16.25	25.7	42.0	22.85
2	17.6	37.7	16.65	24.8	41.9	22.35
3	13.4	37.7	14.55	23.1	38.8	19.95
4	12.6	40.2	15.40	23.7	40.0	20.85
5	10.7	41.7	15.20	24.3	39.4	20.85
6	14.1	46.8	19.45	24.6	40.3	21.45
7	13.9	41.9	16.90	23.4	36.7	19.05
8	12.3	35.3	12.80	24.2	39.1	20.65
9	12.1	36.3	13.20	23.7	40.5	21.10
10	13.4	22.8	7.10	24.2	40.5	21.35
11	14.7	31.3	12.00	25.9	42.3	23.10
12	13.4	32.0	11.70	26.2	43.9	24.05
13	11.8	30.7	10.25	25.6	42.5	23.05
14	12.5	36.2	13.35	24.3	42.8	22.55
15	12.0	29.9	9.95	24.7	42.2	22.45
16	10.1	29.6	8.85	24.0	43.7	22.85
17	9.6	30.3	8.95	24.5	42.0	22.25
18	9.4	28.3	7.85	24.3	43.9	23.10
19	11.7	30.2	9.95	24.1	43.2	22.65
20	12.3	19.8	5.05	24.5	42.2	22.35
21	10.6	16.8	2.70	23.7	43.4	22.55
22	11.3	18.8	4.05	25.1	42.6	22.85
23	12.2	18.3	4.25	24.3	44.0	23.15
24	11.1	19.1	4.10	24.3	44.0	23.15
25	14.2	28.8	10.50	24.3	40.0	21.15
26	17.2	24.8	10.00	24.0	41.7	21.85
27	17.6	24.2	9.90	23.4	42.6	22.00
28	16.1	24.8	9.45	22.0	40.1	20.05
29	16.6	24.2	9.40	23.2	39.1	20.15
30	16.3	22.2	8.25	23.7	41.2	21.45
31	17.7	25.7	10.70	25.8	43.6	23.70

Cuadro 34A. Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes agosto 2023 en ambas localidades.

Día	Localidad					
	S. J. de Soto			Escobedo		
	T° Min	T° Max	Horas Calor	T° Min	T° Max	Horas Calor
1	18.7	25.7	11.20	24.5	43.1	22.80
2	18.1	24.8	10.45	24.7	42.0	22.35
3	16.5	27.4	10.95	24.6	43.6	23.10
4	18.2	22.2	9.20	24.2	43.4	22.80
5	16.6	23.7	9.15	24.1	43.7	22.90
6	16.3	27.7	11.00	25.1	44.3	23.70
7	20.3	27.8	13.05	24.7	43.7	23.20
8	19.2	27.3	12.25	24.6	43.7	23.15
9	19.9	28.8	13.35	25.2	45.6	24.40
10	21.4	27.7	13.55	25.2	46.5	24.85
11	19.8	27.4	12.60	26.5	46.9	25.70
12	20.2	19.7	8.95	27.1	43.9	24.50
13	11.2	16.7	2.95	24.6	42.8	22.70
14	12.0	25.1	7.55	26.5	41.8	23.15
15	18.1	25.1	10.60	25.8	43.4	23.60
16	18.0	24.7	10.35	23.9	42.6	22.25
17	16.8	25.1	9.95	23.3	43.9	22.60
18	18.5	24.1	10.30	25.3	41.6	22.45
19	19.2	15.3	6.25	25.6	39.4	21.50
20	10.6	34.5	11.55	24.2	40.6	21.40
21	10.6	28.2	8.40	22.1	41.4	20.75
22	14.3	20.7	6.50	26.3	38.5	21.40
23	18.0	21.4	8.70	24.1	36.8	19.45
24	17.7	21.0	8.35	23.7	39.8	20.75
25	17.8	22.6	9.20	23.8	41.4	21.60
26	17.4	20.3	7.85	23.2	42.3	21.75
27	17.6	21.3	8.45	24.7	44.2	23.45
28	14.6	20.3	6.45	22.7	45.2	22.95
29	16.3	22.6	8.45	25.2	44.3	23.75
30	19.3	23.7	10.50	22.6	43.4	21.00

Cuadro 35A. Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes septiembre 2023 en ambas localidades.

Día	Localidad					
	S. J. de Soto			Escobedo		
	T° Min	T° Max	Horas Calor	T° Min	T° Max	Horas Calor
1	14.7	23.1	7.90	21.1	42.2	20.65
2	11.2	26.3	7.75	22.5	44.2	22.35
3	11.2	28.3	8.75	22.3	43.7	22.00
4	10.8	31.6	10.20	24.7	43.8	23.25
5	12.8	32.3	11.55	25.2	43.4	23.30
6	11.4	28.5	8.95	26.2	42.3	23.25
7	17.3	25.2	10.25	25.3	43.1	23.20
8	18.6	24.8	10.70	25.3	42.4	22.85
9	18.6	26.8	11.70	25.4	42.1	22.75
10	10.0	28.0	8.00	23.9	43.7	22.80
11	10.2	29.1	8.65	25.1	42.2	22.65
12	10.6	28.0	8.30	24.1	42.5	22.30
13	11.3	29.3	9.30	24.3	42.3	22.30
14	11.1	30.5	9.80	24.3	43.4	22.85
15	10.8	30.5	9.65	25.2	42.0	22.60
16	12.2	31.3	10.75	21.3	40.3	19.80
17	10.5	25.2	6.85	22.2	38.2	19.20
18	10.1	28.3	8.20	20.6	38.7	18.65
19	11.4	25.2	7.30	22.2	39.8	20.00
20	10.1	15.4	1.75	22.2	40.7	20.45
21	7.8	15.2	0.50	22.5	40.6	20.55
22	8.8	30.2	8.50	23.7	40.2	20.95
23	9.9	19.8	3.85	22.2	41.8	21.00
24	11.9	16.6	3.25	23.3	42.0	21.65
25	11.6	30.0	9.80	23.1	41.2	21.15
26	10.6	29.2	8.90	2.3	40.0	10.15
27	10.3	30.8	9.55	23.2	41.4	21.30
28	9.9	29.0	8.45	18.8	39.1	17.95
29	8.3	29.6	7.95	21.2	37.9	18.55
30	9.9	29.0	8.45	22.5	37.8	18.15

Cuadro 36A. Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes octubre 2023 en ambas localidades.

Día	Localidad					
	S. J. de Soto			Escobedo		
	T° Min	T° Max	Horas Calor	T° Min	T° Max	Horas Calor
1	10.5	30.6	9.55	23.4	37.8	19.6
2	10.3	28.1	8.20	22.6	37.7	19.15
3	10.6	29.7	9.15	22.6	39.8	20.20
4	12.0	30.8	10.4	24.6	38.2	20.40
5	12.0	30.2	10.1	23.8	38.7	20.25
6	13.1	15.6	3.35	23.2	42.0	21.60
7	9.6	16.5	2.05	21.3	26.1	12.70
8	12.6	15.4	3.00	16.5	22.1	8.30
9	13.8	21.3	6.55	16.6	26.5	10.55
10	14.3	18.0	5.15	18.7	20.7	8.70
11	14.3	19.2	5.75	18.6	32.5	14.55
12	13.7	17.1	4.40	18.6	35.4	16.00
13	15.7	24.6	9.15	19.7	39.8	18.75
14	13.3	19.1	5.20	21.8	25.3	12.55
15	15.6	24.6	9.10	17.6	24.0	9.80
16	13.3	20.5	5.90	18.0	29.2	12.60
17	11.7	18.2	3.95	10.6	29.7	9.15
18	11.8	21.6	5.70	10.7	31.6	10.15
19	12.6	20.5	5.55	14.0	35.7	13.85
20	13.7	22.6	7.15	15.9	37.1	15.50
21	13.2	20.5	5.85	15.1	39.2	16.15
22	13.5	28.2	9.85	20.6	34.2	16.40
23	12.4	21.0	5.70	21.3	31.6	15.45
24	11.7	30.5	10.10	22.6	36.0	18.30
25	11.7	26.1	7.90	23.6	31.9	16.75
26	16.3	26.2	10.25	22.8	33.4	17.10
27	16.2	24.1	9.15	23.2	30.7	15.95
28	5.1	29.6	6.35	20.5	33.4	15.95
29	9.1	28.8	7.95	21.7	35.1	17.40
30	9.8	21.1	4.45	7.6	10.2	0.00

Cuadro 37A. Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes noviembre 2023 en ambas localidades.

Día	Localidad					
	S. J. de Soto			Escobedo		
	T° Min	T° Max	Horas Calor	T° Min	T° Max	Horas Calor
1	4.6	19.2	0.90	8.5	23.9	5.20
2	2.1	25.9	3.00	5.2	28.8	6.00
3	5.1	20.1	1.60	9.7	28.8	8.25
4	4.7	29.9	6.30	13.3	28.8	10.05
5	4.8	29.6	6.20	13.3	30.6	10.95
6	4.5	30.6	6.55	13.3	32.3	11.80
7	7.6	33.7	9.65	15.3	24.5	8.90
8	9.9	35.4	11.65	16.2	34.6	14.40
9	11.2	34.0	11.6	19.8	36.5	17.15
10	11.3	17.1	3.20	16.2	15.2	4.70
11	11.7	31.1	10.4	13.3	15.2	3.25
12	14.8	17.1	4.95	13.5	17.2	4.35
13	12.8	32.0	11.4	14.0	20.1	6.05
14	13.1	15.4	3.25	14.7	23.2	7.95
15	12.5	15.3	2.90	13.4	28	9.70
16	10.5	17.2	2.85	13.4	32.1	11.75
17	10.7	23.2	5.95	15.1	34.7	13.90
18	11.1	22.8	5.95	15.6	35.2	14.40
19	12.5	23.0	6.75	15.6	36.2	14.90
20	12.4	21.2	5.80	15.4	29.1	11.25
21	12.5	13.7	2.10	16.1	32.6	13.35
22	6.8	13.7	0.00	10.7	29.1	8.90
23	6.8	16.6	0.70	7.8	21.9	3.85
24	8	13.7	0.00	7.2	20.3	2.75
25	8	34.7	10.35	14.8	23.3	8.05
26	7.9	31.2	8.55	15.1	25.2	9.15
27	7.1	22.0	3.55	10.6	11.1	0.00
28	9.2	28.8	8.00	8.8	13.6	0.20
29	6.5	24.3	4.40	9.9	14.5	1.20
30	9.8	29.9	8.85	11.6	29.7	8.65

Cuadro 38A. Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes diciembre 2023 en ambas localidades.

Día	Localidad					
	S. J. de Soto			Escobedo		
	T° Min	T° Max	Horas Calor	T° Min	T° Max	Horas Calor
1	9.6	27.7	7.65	13.3	26.7	9.00
2	9.7	29.9	8.80	13.8	28.6	10.20
3	7.2	19.8	2.50	12.9	24.1	7.50
4	7.7	22.3	4.00	10.6	23.0	5.80
5	8.3	14.2	0.25	11.2	24.5	6.85
6	6.5	22.3	3.40	15.2	19.6	6.40
7	8.3	20.5	3.40	15.8	20.0	6.90
8	6.0	23.7	3.85	12.5	22.6	6.55
9	7.3	25.3	5.30	13.2	24.5	7.85
10	1.2	26.7	2.95	10.9	21.3	5.10
11	2.3	20.1	0.20	4.6	19.8	1.20
12	4.2	21.9	2.05	6.0	17.6	0.80
13	5.9	18.5	1.20	13.1	18.2	4.65
14	7.2	29.4	7.30	15.7	19.3	6.50
15	6.2	24.8	4.50	15.2	23.2	8.20
16	6.6	19.6	2.10	14.6	21.2	6.90
17	2.1	30.3	5.20	13.6	26.6	9.10
18	1.3	21.6	0.45	8.0	30.2	8.10
19	-0.3	3.6	0.00	7.7	26.2	5.95
20	2.5	25.2	2.85	9.4	22.5	4.95
21	4.1	26.2	4.15	11.3	25.6	7.45
22	5.2	27.2	5.20	14.6	25.6	9.10
23	8.6	14.3	0.45	8.0	19.0	2.50
24	6.2	27.9	6.05	8.0	22.5	4.25
25	3.1	22	1.55	9.0	20.7	3.85
26	7.9	19.2	2.55	11.8	18.0	3.90
27	3.9	26.7	4.30	6.6	27.9	6.25
28	-0.7	19.1	0.00	6.0	24.3	4.15
29	0.3	10.1	0.00	5.6	27.4	5.50
30	0.6	18.8	0.00	4.0	26.3	4.15
31	2.2	22.1	1.15	5.1	27.7	5.40

Cuadro 39A. Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes enero 2024 en ambas localidades.

Día	Localidad					
	S. J. de Soto			Escobedo		
	T° Min	T° Max	Horas Calor	T° Min	T° Max	Horas Calor
1	4.2	22.1	2.15	9.4	27.3	7.35
2	4.2	23.9	3.05	10.1	27.3	7.70
3	1.4	7.4	0.00	9.4	24.0	5.70
4	0.2	19.8	0.00	8.5	11.3	0.00
5	9.3	25.1	6.20	8.5	21.4	3.95
6	4.5	22.6	2.55	6.3	20.8	2.55
7	3.2	14.6	0.00	10.0	17.4	2.70
8	9.3	24.0	5.65	10.8	33.9	11.35
9	4.1	21.7	1.90	9.2	22.0	4.60
10	7.3	20.8	3.05	3.7	24.7	3.20
11	8.5	24.8	5.65	5.8	34.3	9.05
12	4.6	24.8	3.70	11.9	28.2	9.05
13	7.2	24.0	4.60	7.6	24.1	4.85
14	2.1	26.7	3.40	7.4	29.1	7.25
15	7.3	27.2	6.25	6.6	17.4	1.00
16	6.3	24.3	4.30	-2.7	5.4	0.00
17	2.2	23.6	1.90	-2.3	13.6	0.00
18	8.7	29.9	8.30	1.6	32.1	5.85
19	5.6	22.6	3.10	7.7	26.1	5.90
20	1.4	21.3	0.35	2.8	15.6	0.00
21	7.4	22.1	3.75	1.6	11.3	0.00
22	8.2	26.1	6.15	9.7	25.6	6.65
23	8.5	27.3	6.90	12.2	26.6	8.40
24	8	21.3	3.65	15.4	25.8	9.60
25	10.3	23.5	5.90	12.8	28.5	9.65
26	10.7	26.1	7.40	15.7	30.5	12.10
27	5.2	8.0	0.00	16.0	27.5	10.75
28	2.7	6.6	0.00	12.0	26.8	8.40
29	4.5	8.3	0.00	5.7	25.2	4.45
30	6.6	12.3	0.00	9.9	24.3	6.10

Cuadro 40A. Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes febrero 2024 en ambas localidades.

Día	Localidad					
	S. J. de Soto			Escobedo		
	T° Min	T° Max	Horas Calor	T° Min	T° Max	Horas Calor
1	8.0	26.3	6.15	11.6	28.7	9.15
2	8.7	27.7	7.20	11.4	34.3	11.85
3	7.9	21.6	3.75	16.2	29.3	11.75
4	7.9	23.4	4.65	13.2	32.1	11.65
5	5.8	22.0	2.90	12.9	29.6	10.25
6	0.7	24.7	1.70	7.3	25.9	5.60
7	6.0	28.7	6.35	7.7	25.0	5.35
8	12.1	29.3	9.70	10.8	32.5	10.65
9	5.1	29.6	6.35	12.7	31.1	10.90
10	7.1	28.1	6.60	13.2	27.2	9.20
11	11.7	27.2	8.45	13.2	30.7	10.95
12	-0.9	25.7	1.40	6.1	26.5	5.30
13	5.4	21.7	2.55	9.3	22.5	4.90
14	5.0	20.7	1.85	10.3	23.7	6.00
15	9.3	25.3	6.30	13.4	19.4	5.40
16	8.6	20.3	3.45	13.8	21.1	6.45
17	4.0	8.3	0.00	16.7	20.3	7.50
18	-0.4	22.2	0.00	14.5	16.0	4.25
19	5.1	23.8	3.45	3.6	27.9	4.75
20	4.0	26.7	4.35	7.6	33.7	9.65
21	6.7	36.3	10.5	11.6	36.7	13.15
22	11.3	26.7	8.00	13.7	41.2	16.45
23	5.6	25.7	4.65	16.1	31.3	12.70
24	6.3	24.7	4.50	11.6	31.4	10.50
25	6.7	29.0	6.85	12.3	37.2	13.75
26	9.6	30.0	8.80	13.4	41.1	16.25
27	11.2	30.3	9.75	15.7	43.9	18.80
28	11.6	32.5	11.05	18.5	38.2	17.35
29	8.3	25.3	5.80	14.8	25.3	9.05

Cuadro 41A. Registro de temperaturas y horas calor acumuladas del mes marzo 2024 en ambas localidades.

Día	Localidad					
	S. J. de Soto			Escobedo		
	T° Min	T° Max	Horas Calor	T° Min	T° Max	Horas Calor
1	11.3	27.9	8.60	6.8	30.2	7.50
2	4.2	33.7	7.95	9.6	35.2	11.40
3	6.6	27.9	6.25	12.6	35.3	12.95
4	7.1	29.3	7.20	18.0	34.3	15.15
5	7.6	28.1	6.85	18.1	31.2	13.65
6	7.6	26.0	5.80	18.3	31.3	13.80
7	9.6	27.3	7.45	20.5	30.1	14.30
8	14.0	28.3	10.15	17.9	25.6	10.75
9	4.0	22.0	2.00	11.6	20.6	5.10
10	2.0	20.2	0.10	12.0	21.3	5.65
11	3.6	29.1	5.35	10.8	27.8	8.30
12	6.2	35.3	9.75	17.1	32.3	13.70
13	11.4	31.2	10.30	16.0	39.2	16.60
14	11.6	29.2	9.40	17.7	38.8	17.25
15	10.6	35.2	11.90	20.0	38.8	18.40
16	8.3	29.1	7.70	18.0	33.1	14.55
17	9.7	30.1	8.90	16.0	30.0	12.00
18	9.8	23.0	5.40	10.0	20.0	4.00
19	5.6	24.7	4.15	10.0	14.6	1.30
20	9.2	26.1	6.65	13.7	27.2	9.45
21	10.6	30.1	9.35	18.2	32.7	14.45
22	6.9	29.1	7.00	21.8	37.3	18.55
23	5.1	24.5	3.80	19.3	30.2	13.75
24	9.8	29.1	8.45	20.1	34.3	16.20
25	12.3	26.7	8.50	20.3	35.6	16.95
26	3.7	24.2	2.95	19.3	31.6	14.45
27	5.7	26.8	5.25	18.3	32.0	14.15
28	2.3	27.4	3.85	18.2	32.1	14.15
29	3.6	32.2	6.90	17.0	29.4	12.20
30	11.7	32.6	11.15	18.0	36.1	16.05
31	10.7	33.7	11.20	25.8	38.0	20.90