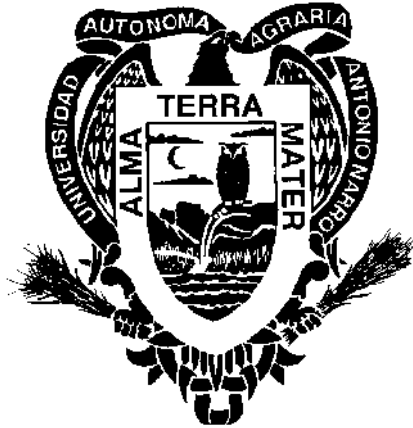


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



Evaluación de parámetros básicos del suelo para la toma de
decisiones al momento de la siembra de un cultivo

Por:

YOTZIRY JOHANA NAVA RAMÍREZ

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Evaluación de parámetros básicos del suelo para la toma de
decisiones al momento de la siembra de un cultivo

POR:

YOTZIRY JOHANA NAVA RAMÍREZ

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como
requisito para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Aprobada por:



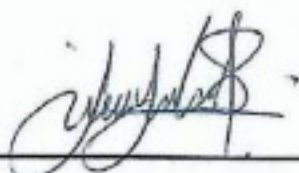
M.C. Juan Antonio López López.

Presidente



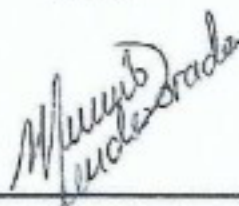
Dr. Marco Antonio Reynolds Chávez

Vocal



M.C. Gilbert Fresh López López

Vocal



Dr. Mario Alberto Méndez Dorado

Vocal



M.C. Sergio Sánchez Martínez

Coordinador de la división de ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Diciembre 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA

Evaluación de parámetros básicos del suelo para la toma de
decisiones al momento de la siembra de un cultivo

POR:

YOTZIRY JOHANA NAVA RAMÍREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

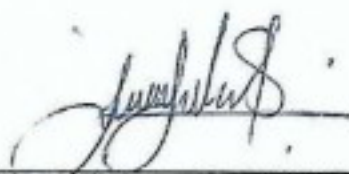
Aprobada por el comité de asesoría:



M.C. Juan Antonio López López.
Asesor principal



Dr. Marco Antonio Reynolds Chávez
Asesor principal externo



M.C. Gilbert Fresh López López
Coasesor



Dr. Mario Alberto Méndez Dorado
Coasesor

Agradecimientos

A Dios: Por brindarme la sabiduría y fuerza para enfrentar cada desafío en mi camino.

A la UAAAN: Por brindarme un espacio en sus instalaciones y poder terminar la licenciatura de Ing. Mecánico Agrícola.

Al INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias): Por darme la oportunidad de realizar prácticas profesionales y tesis en sus instalaciones.

Dr. Marco Antonio Reynolds Chávez: Por darme la oportunidad de realizar prácticas profesionales y orientarme en el desarrollo de la tesis.

M.C. Fresh López López: Por las enseñanzas dentro y fuera del salón de clases, por ser más que un docente, por apoyarme de manera interna y externa.

M.C. Juan Antonio López López: Por las enseñanzas que me brindo dentro y fuera de la institución.

M.C. Héctor Uriel Serna Fernández: Por la enseñanza que recibí de su parte, por orientarme durante la carrera.

M.C. Juan Antonio Guerrero Hernández: Por los años de enseñanza que me brindo.

Tec. Toño Nieves: Por el apoyo recibido durante las actividades de campo, desarrolladas en el INIFAP de Cotaxtla Veracruz.

Dedicatoria

A mis padres:

Sr. Pedro Nava Muñoz

Sra. Patricia Ramírez Amador

Por cada esfuerzo que hacen día a día para brindarme su apoyo, por cada palabra de aliento, por cada consejo, pero sobre todo por siempre estar para mis hermanos y para mí, sobran palabras para agradecerles todo.

A mis abuelitos:

Sr. Inocencio Ramírez Peña

Sra. Cristobalina Sánchez Amador

Por ser también mi motivación para seguir adelante, por el apoyo que me brindaron durante este camino, por no estar sólo en esta meta sino estar durante toda mi vida y hacerme sentir parte de ustedes.

A mis bisabuelos: Gracias porque aun estando lejos son mi motivación, con cada palabra que me dedican.

A mis hermanos: Rodrigo Nava y Oscar Nava

Por escucharme y sacarme una risa en los momentos difíciles, por también ser mi motivación.

A mi novio:

Por ser mi apoyo incondicional, no solo en la escuela sino también en la vida, agradezco cada consejo y motivación que me brindas, espero seguir construyendo este largo camino contigo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	18
II. LITERATURA REVISADA	23
2.1 Suelo.....	23
2.1.1 Formación del suelo	23
2.1.2 Composición del suelo.....	24
2.1.3 Importancia del suelo.....	25
2.1.4 El suelo como medio para la producción de alimentos.....	25
2.1.5 Suelo cultivable en el mundo	26
2.1.6 Clasificación del suelo	26
2.1.7 Distribución de tipos del suelo en México	27
2.1.8 Análisis de suelo.....	28
2.1.9 Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo.....	30
2.1.10 Principales parámetros físicos del suelo.....	32
2.1.11 Principales parámetros químicos del suelo	34
2.2 Preparación o laboreo del suelo	36
2.2.1 Labranza primaria.....	36
2.2.2 Labranza secundaria	37
2.2.3 Labranza terciaria	38
2.2.4 Forma de preparación del suelo	38
2.3 Producción de maíz	41
2.3.1 Rendimiento promedio en maíz.	42
2.3.2 Como aumentar el rendimiento del maíz.	42
III. MATERIALES Y MÉTODOS	44

3.1	Materiales y equipos empleados	44
3.2	Ubicación	45
3.2.1	Clima y precipitación.....	45
3.3	Selección y análisis de parámetros del suelo para el establecimiento de los cultivos	46
3.4	Recolección de muestras de suelo para análisis en laboratorio	46
3.5	Determinación de parámetros físicos del suelo	47
3.5.1	Contenido de humedad.	47
3.5.2	Densidad aparente	48
3.5.3	Porosidad	48
3.5.4	Resistencia a la penetración.....	49
3.6	Análisis de suelo enviado a laboratorio.....	49
3.7	Manejo agronómico del cultivo	50
3.7.1	Diseño de experimento.....	50
3.7.2	Preparación de surcos.....	56
3.7.3	Siembra y fertilización.....	56
3.7.4	Preparación de canales y riego.	58
3.8	Prueba de emergencia.....	59
3.9	Muestreo de parámetros de plantas	60
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
4.1	Selección y análisis de parámetros del suelo para el establecimiento de los cultivos	63
4.2	Determinación de parámetros físicos del suelo (diagnóstico)	63
4.3	Resultados del análisis de suelo enviado al laboratorio certificado	67
4.4	Manejo agronómico del cultivo	67
4.4.1	PREPARACIÓN DEL SUELO (experimento 1).....	68
4.4.2	Ficha técnica de los parámetros de desempeño de los equipos utilizados en la preparación del suelo.....	74

4.4.3	Desempeño individual de los equipos utilizados en la preparación del suelo en la evaluación de los parámetros con los cinco tratamientos por hectárea.....	84
4.4.4	Análisis estadístico de tratamientos para labranza (no hay relación con variables de planta).....	88
4.5	Siembra y fertilización.....	94
4.5.1	FERTILIZACIÓN (EXPERIMENTO 1)	96
4.5.2	Análisis estadístico de labranza y fertilización	116
4.6	Análisis estadístico de labranza y fertilización	117
4.7	Determinación de parámetros físicos del suelo después de la cosecha	126
4.8	Relación de beneficio/ costo.	130
V.	CONCLUSIONES.....	133
VI.	LITERATURA CITADA.....	134
VII.	ANEXOS	141
7.1	ANEXO A. Valores de peso húmedo y peso seco de muestras tomadas en el sitio.....	141
7.2	ANEXO B. Análisis de suelo proporcionado por el laboratorio.	142
7.3	ANEXO C. Penetrómetro usado	150
7.4	ANEXO D. Valores de peso húmedo y peso seco de muestras tomadas en el sitio después de la cosecha	151
7.5	ANEXO E. Paquetes tecnológicos INIFAP.	152

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2. 1 Clasificación de suelos según tamaños de sus partículas (en mm) ..	27
Cuadro 2. 2 Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo.....	31
Cuadro 3. 1 Parámetros evaluados para equipos agrícolas utilizados.....	55
Cuadro 3. 2 Riegos de auxilio en el cultivo	59
Cuadro 4. 1 Contenido de humedad de muestras antes de la preparación del suelo	64
Cuadro 4. 2 Densidad aparente de muestras antes de la preparación del suelo ..	64
Cuadro 4. 3 Porosidad de muestras antes de la preparación del suelo	65
Cuadro 4. 4 Datos registrados con penetrómetro en la parcela antes de la preparación del suelo (MPa)	66
Cuadro 4. 5 Datos promedio de parámetros físicos hechos en campo antes de la preparación del suelo.....	66
Cuadro 4. 6 Determinación de parámetros físicos y químicos del suelo.....	67
Cuadro 4. 7 Parámetros de labranza primaria (Tratamiento 1).....	68
Cuadro 4. 8 Parámetros de labranza secundaria (primera pasada de rastra)	69
Cuadro 4. 9 Parámetros de labranza secundaria (segunda pasada de rastra).....	69
Cuadro 4. 10 Parámetros de labranza primaria (Tratamiento 2).....	70
Cuadro 4. 11 Parámetros de labranza secundaria (primera pasada de rastra).....	70
Cuadro 4. 12 Parámetros de labranza secundaria (segunda pasada de rastra) ...	71
Cuadro 4. 13 Parámetros de labranza primaria (Tratamiento 3).....	71
Cuadro 4. 14 Parámetros de labranza secundaria (primera pasada de rastra).....	72
Cuadro 4. 15 Parámetros de labranza secundaria (segunda pasada de rastra) ...	72
Cuadro 4. 16 Parámetros de labranza primaria + secundaria (Tratamiento 4)	73
Cuadro 4. 17 Parámetros de labranza secundaria (primera pasada de rastra).....	73
Cuadro 4. 18 Parámetros de labranza secundaria (segunda pasada de rastra) ...	74
Cuadro 4. 19 Parámetros técnicos de desempeño de diferentes equipos utilizados para la preparación primaria del suelo	75
Cuadro 4. 20 Parámetros de desempeño de dos diferentes equipos utilizados para la preparación secundaria del suelo.....	81
Cuadro 4. 21 Evaluación de desempeño del T1: Arado reversible de tres discos dos pasos cruzados de rastra de levante de 20 discos	84

Cuadro 4. 22 Evaluación de desempeño T2: Arado de cinceles MF + dos pasos cruzados de rastra de levante de 20 discos	85
Cuadro 4. 23 Evaluación de desempeño T3: Arado PVPC (Parámetros verticales y profundidad critica) + dos pasos cruzados de rastra de levante de 20 discos	85
Cuadro 4. 24 Evaluación de desempeño T4: Equipo Multipropósito	85
Cuadro 4. 25 Evaluación de desempeño T5: Dos pasos de rastra de tiro de 32 discos	86
Cuadro 4. 26 Evaluación de los cinco tratamientos diferentes para la preparación primaria + secundaria del suelo en una hectárea	86
Cuadro 4. 27 Cuadro comparativo de costo de combustible, tiempo total y costo de maquila en cada tratamiento de labranza	89
Cuadro 4. 28 Ahorro comparativo de los tratamientos de labranza	89
Cuadro 4. 29 Análisis de varianza de consumo de combustible	90
Cuadro 4. 30 Análisis de varianza de consumo	90
Cuadro 4. 31 Análisis de varianza del tiempo total	91
Cuadro 4. 32 Análisis de varianza del tiempo total	92
Cuadro 4. 33 Análisis de varianza del costo de maquila	93
Cuadro 4. 34 Análisis de varianza del costo de maquila	93
Cuadro 4. 35 Datos de emergencia de planta en 20 m en parcela 1	94
Cuadro 4. 36 Datos de emergencia de planta en 20 m en parcela 2	95
Cuadro 4. 37 Datos de emergencia de planta en 20 m en parcela 3	95
Cuadro 4. 38 Datos de emergencia de planta en 20 m en parcela 4	95
Cuadro 4. 39 Datos de emergencia de planta en 20 m en parcela 5	95
Cuadro 4. 40 Prueba de emergencia	96
Cuadro 4. 41 Evaluación de parámetros promedio de planta con la recomendación del laboratorio (CE)	97
Cuadro 4. 42 Evaluación de parámetros promedio de planta del paquete tecnológico INIFAP (SE)	97
Cuadro 4. 43 Evaluación de parámetros promedio de planta con la recomendación del laboratorio (CE)	98
Cuadro 4. 44 Evaluación de parámetros promedio de planta del paquete tecnológico INIFAP (SE)	98

Cuadro 4. 45 Evaluación de parámetros promedio de planta con la recomendación del laboratorio (CE)	99
Cuadro 4. 46 Evaluación de parámetros promedio de planta del paquete tecnológico INIFAP (SE)	99
Cuadro 4. 47 Evaluación de parámetros promedio de planta con la recomendación del laboratorio (CE)	100
Cuadro 4. 48 Evaluación de parámetros promedio de planta del paquete tecnológico INIFAP (SE)	100
Cuadro 4. 49 Evaluación de parámetros promedio de planta con la recomendación del laboratorio (CE)	101
Cuadro 4. 50 Evaluación de parámetros promedio de planta del paquete tecnológico INIFAP (SE)	101
Cuadro 4. 51 Promedios de los parámetros de planta con la recomendación del laboratorio (CE) en los cinco tratamientos de labranza.....	102
Cuadro 4. 52 Parámetros de planta promedios con el paquete tecnológico INIFAP (SE) en los cinco tratamientos de labranza.....	106
Cuadro 4. 53 Evaluación de parámetros de planta con las dos dosis de fertilización	111
Cuadro 4. 54 Rendimiento promedio de peso en fresco de maíz para forraje (t/ha) contabilizando el número de plantas emergidas	115
Cuadro 4. 55 Rendimiento promedio ajustado de peso en fresco de maíz para forraje (t/ha).....	¡Error! Marcador no definido.
Cuadro 4. 56 Cuadro descriptivo para corrida de datos estadísticos	116
Cuadro 4. 57 Comparación de tratamientos de labranza+ fertilización	117
Cuadro 4. 58 Análisis de varianza de longitud de planta	117
Cuadro 4. 59 Análisis de varianza de longitud de planta	118
Cuadro 4. 60 Análisis de varianza de diámetro de planta	119
Cuadro 4. 61 Análisis de varianza de diámetro de planta	119
Cuadro 4. 62 Análisis de varianza de peso de planta	120
Cuadro 4. 63 Análisis de varianza de peso de planta.	121
Cuadro 4. 64 Análisis de varianza de peso de mazorca	122
Cuadro 4. 65 Análisis de varianza de peso de mazorca	122
Cuadro 4. 66 Análisis de varianza de peso total de planta	123

Cuadro 4. 67 Análisis de varianza de peso total de planta	124
Cuadro 4. 68 Análisis de varianza de rendimiento	125
Cuadro 4. 69 Análisis de varianza de rendimiento	125
Cuadro 4. 70 Contenido de humedad de cada muestra.....	126
Cuadro 4. 71 Densidad aparente de muestras.....	127
Cuadro 4. 72 Porosidad de muestras después de la	127
Cuadro 4. 73 Datos promedio de parámetros físicos hechos en campo después de la cosecha	128
Cuadro 4. 74 Determinación de parámetros físicos y químicos del suelo	128
Cuadro 4. 75 Cuadro comparativo de la determinación de los parámetros hechos por el laboratorio en sus dos fases	129
Cuadro 4. 76 Comparación de parámetros físicos hechos en campo	129
Cuadro 4. 77 Identificación de tratamientos para el cuadro de rentabilidad.....	130
Cuadro 4. 78 Costos y beneficios de los tratamientos (Labranza+ fertilización) .	131
Cuadro 4. 79 Relación beneficio/costo de cada tratamiento	132
Cuadro 8. 1 Valores de peso húmedo de todas las muestras.....	141
Cuadro 8. 2 Valores de peso seco de todas las muestras	141
Cuadro 8. 3 Valores de peso húmedo de todas las muestras después de la cosecha	151
Cuadro 8. 4 Valores de peso seco de todas las muestras después de la cosecha	151
Cuadro 8. 5 Paquete tecnológico de T1: Arado reversible de tres discos + un paso cruzado de rastra de levante de 20 discos.....	152
Cuadro 8. 6 Paquete tecnológico de T2: Arado de cinceles MF + un paso cruzado de rastra de levante de 20 discos	154
Cuadro 8. 7 Paquete tecnológico de T3: Arado PVPC (Parámetros verticales y profundidad critica) + un paso cruzado de rastra de levante de 20 discos.....	156
Cuadro 8. 8 Paquete tecnológico de T4: Equipo Multipropósito	158
Cuadro 8. 9 Paquete tecnológico de T5: Rastra de Tiro de 32 discos	160

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Composición del suelo.	24
Figura 2. 2 Distribución territorial de tipos de suelo en México.	27
Figura 2. 3 Distribución porcentual de tipos de suelos en México.	28
Figura 3. 1 Ubicación del terreno.	45
Figura 3. 2 Recolección de muestras de suelo.	47
Figura 3. 3 Medición de parámetros: porcentaje de humedad, Da y porosidad. ..	48
Figura 3. 4 Determinación in situ de resistencia a la penetración.	49
Figura 3. 5 Croquis de la distribución de cada uno de los tratamientos de equipos de labranza utilizados para la preparación del suelo.	51
Figura 3. 6 Ejemplo de la distribución de las dos dosis de fertilización en cada parcela.	51
Figura 3. 7 Implementos agrícolas utilizados para parcela uno.	52
Figura 3. 8 Implementos agrícolas utilizados para parcela dos.	53
Figura 3. 9 Implementos agrícolas utilizados para parcela tres.	53
Figura 3. 10 Implemento agrícola utilizado para parcela cuatro.	54
Figura 3. 11 Implemento agrícola utilizado para parcela cinco.	54
Figura 3. 12 Medición de parámetros en equipos agrícolas.	55
Figura 3. 13 Preparación de surcos.	56
Figura 3. 14 Siembra y fertilización.	58
Figura 3. 15 Riego rodado en cultivo de maíz.	58
Figura 3. 16 Bordero de cuatro discos.	59
Figura 3. 17 Croquis de prueba de emergencia en el cultivo.	60
Figura 3. 18 Prueba de emergencia.	60
Figura 3. 19 Muestreo de parámetros de plantas.	61
Figura 3. 20 Croquis de los días de muestreo para parámetros de planta.	61
Figura 3. 21 Muestreo de parámetros de plantas.	62
Figura 4. 1 Desplegable para productores con información técnica.	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 4. 2 Desplegable para productores con información técnica (Parte 2).	¡Error! Marcador no definido.

Figura 4. 3 Tiempo de recorrido de equipos utilizados para la preparación ..	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 4. 4 Tiempo de vuelta en la cabecera de equipos utilizados	¡Error!
Marcador no definido.	
Figura 4. 5 Tiempo de vuelta de equipos utilizados para la preparación.....	77
Figura 4. 6 Tiempo total de la prueba de equipos utilizados para la	78
Figura 4. 7 Consumo de combustible de equipos utilizados para la.....	79
Figura 4. 8 Ancho de trabajo de equipos utilizados para la preparación	80
Figura 4. 9 Tiempo de recorrido de equipos utilizados para la preparación secundaria del suelo.	81
Figura 4. 10 Tiempo de vuelta en la cabecera de equipos utilizados para la preparación secundaria del suelo.	82
Figura 4. 11 Tiempo de una vuelta de equipos utilizados para la preparación secundaria del suelo.	82
Figura 4. 12 Tiempo total de la prueba de equipos utilizados para la preparación secundaria del suelo.	83
Figura 4. 13 Consumo de combustible de equipos utilizados para la preparación secundaria del suelo.	84
Figura 4. 14 Evaluación de combustible de los cinco tratamientos diferentes para la preparación primaria + secundaria del suelo.....	87
Figura 4. 15 Evaluación de tiempos de los cinco tratamientos diferentes para la preparación primaria + secundaria del suelo.	88
Figura 4. 16 Comparación de medias sobre consumo de combustible.	91
Figura 4. 17 Comparación de medias sobre tiempo total.	92
Figura 4. 18 Comparación de medias sobre costo de maquila.....	94
Figura 4. 19 Longitud de planta en la recomendación del laboratorio (m).....	102
Figura 4. 20 Diámetro de planta en la recomendación del laboratorio (cm).	103
Figura 4. 21 Peso de planta en la recomendación del laboratorio (kg).	103
Figura 4. 22 Peso de mazorca en la recomendación del laboratorio (kg).	104
Figura 4. 23 Peso de planta + peso de mazorca en la recomendación del	105
Figura 4. 24 No. plantas / metro en la recomendación del laboratorio.	105
Figura 4. 25 Rendimiento en fresco con la recomendación del laboratorio	106
Figura 4. 26 Longitud de planta con el paquete tecnológico INIFAP (m).	107

Figura 4. 27	Diámetro de planta con el paquete tecnológico INIFAP (cm).	107
Figura 4. 28	Peso de planta con el paquete tecnológico INIFAP (kg).	108
Figura 4. 29	Peso de mazorca con el paquete tecnológico INIFAP (kg).	108
Figura 4. 30	Peso de planta+ peso de mazorca con el paquete tecnológico	109
Figura 4. 31	No. Plantas/ metro con el paquete tecnológico INIFAP.....	109
Figura 4. 32	Rendimiento en fresco con el paquete tecnológico INIFAP	110
Figura 4. 33	Evaluación de longitud de planta con las dos dosis de	111
Figura 4. 34	Evaluación de diámetro de planta con las dos dosis de	112
Figura 4. 35	Evaluación de peso de mazorca con las dos dosis de fertilización.	112
Figura 4. 36	Evaluación de peso de planta con las dos dosis de fertilización. ...	113
Figura 4. 37	Evaluación de peso de planta+ peso de mazorca con las dos dosis	114
Figura 4. 38	Evaluación de No. de plantas con las dos dosis de fertilización. ...	114
Figura 4. 39	Evaluación de rendimiento con las dos dosis de fertilización.	115
Figura 4. 40	Comparación de medias sobre longitud de planta.	118
Figura 4. 41	Análisis de varianza de diámetro de planta.....	120
Figura 4. 42	Comparación de medias sobre peso de planta.	121
Figura 4. 43	Comparación de medias sobre peso de mazorca.	123
Figura 4. 44	Comparación de medias sobre peso de planta+ peso de mazorca.	124
Figura 4. 45	Comparación de medias sobre rendimiento.....	126
Figura 4. 46	Relación de beneficio costo de tratamientos (labranza + fertilización).	132

RESUMEN

En México se tiene como meta del actual gobierno, enfocar todas sus fortalezas para lograr alcanzar la soberanía alimentaria de la canasta básica específicamente de maíz y frijol. En la última década, se han obtenido registros de producción que manifiestan una mejora en los rendimientos, pero éstos, han sido insuficientes ante un consumo en constante crecimiento y una producción poco tecnificada y carente de información básica necesaria, lo cual, afecta en la toma de decisiones y la productividad de los cultivos. Así mismo, algunas prácticas de manejo que se hacen en el suelo han propiciado la erosión, también la pérdida de fertilidad y los bajos rendimientos, todo esto, como consecuencia del deterioro de sus propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Por otra parte, la determinación de parámetros de diagnóstico in situ y el análisis del suelo permiten obtener información para mejorar la toma de decisiones para las recomendaciones nutricionales o aplicación de enmiendas, en prácticas de manejo y, en consecuencia, mejore la respuesta productiva y salud de los cultivos. Por lo tanto, se espera que las cosechas con análisis de suelo sean mejores que sin análisis de suelo, lo que permitirá ahorrar gastos de fertilizante, combustible, tiempo y mano de obra.

El presente trabajo de investigación se enfoca inicialmente en la determinación y análisis (pre siembra y post cosecha) de los parámetros físicos y químicos básicos necesarios del suelo para el establecimiento, manejo y adecuado desarrollo de los cultivos, específicamente de granos básicos. Posteriormente, se llevó a cabo un establecimiento de producción de maíz para forraje, bajo las condiciones en campo. Se realizaron dos evaluaciones, la primera fue el desempeño técnico de los equipos agrícolas en tres variables (consumo de combustible, tiempo de operación y costo de maquila) de cinco diferentes intensidades de labranza (TL1= [Arado de disco] + [Paso cruzado de rastra de levante] TL2= [Arado de cinceles MF] + [Paso cruzado de rastra de levante], TL3= [Arado de PVPC]+ [Paso cruzado de rastra de levante], TL4= [Multipropósito integral], TL5= [Rastra de tiro con paso cruzado], para la preparación del suelo. En la segunda evaluación se midieron parámetros de respuesta en planta para obtener la variable (rendimiento), para ello, se aplicaron dos diferentes dosis de fertilización en cada una de las parcelas de labranza

(TF1=Recomendación de un laboratorio certificado posterior a un análisis de suelo, TF2=Recomendación general del paquete tecnológico INIFAP, sin previo análisis de suelo).

Para determinar las variables de respuesta en la evaluación técnica del desempeño de los implementos que se utilizaron para la preparación de suelo, se realizó un diseño experimental de bloques al azar con los cinco tratamientos en una sola repetición de una franja completa, en una prueba continua (sin paro) avalada por el código de pruebas RENAM y la Universidad de Nebraska. Para la evaluación de parámetros de planta y variable rendimiento de los tratamientos de fertilización, también se realizó un diseño de bloques al azar con los dos tratamientos y las seis repeticiones. Para el análisis de la información de bloques al azar se utilizó el paquete estadístico RStudio.

En el resultado de las variables de desempeño cuantificadas en la preparación primaria y secundaria del suelo, el T4 de equipo multipropósito fue la mejor opción, al registrar un consumo de combustible de 10 L/ha, un tiempo total de operación de 1.82 h/ha y un costo de maquila de \$2000/ha, obteniendo un ahorro significativo del 73.33 %, 61.84% y 47.36 % respectivamente, al compararlo con el equipo más utilizado para la preparación de suelo en nuestro país (arado de tres discos + rastra de levante con paso cruzado).

En la proyección total de cosecha de los cinco tratamientos de labranza establecidos en campo, [con análisis de suelo y recomendación de laboratorio], y [sin análisis de suelo y recomendación del paquete tecnológico del INIFAP], los resultados muestran que la mayor rentabilidad fue para el T5 sin enmienda (Paso cruzado de rastra de tiro + Paquete tecnológico INIFAP) tuvo las mejores condiciones en seis de siete parámetros como son: longitud de planta, peso de planta, peso de mazorca, peso de planta+ peso de mazorca, y en el más importante, rendimiento.

De acuerdo con el análisis realizado de beneficio/costo todos los tratamientos son rentables, pero el T4CE (Multipropósito+ fertilización recomendada por laboratorio) fue el más rentable.

I. INTRODUCCIÓN

El suelo se clasifica como un recurso no renovable, ya que se requieren 500 años para que se forme de manera natural 2 cm de suelo fértil (SEMARNAT, 2018). El 95% de los alimentos que consumimos se producen en el suelo. Este recurso se considera el hábitat del 25% de la biodiversidad del planeta (SADER, 2024).

En México, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) indica que investigaciones recientes revelan que el 64% de los suelos en México presentan problemas de degradación en los diferentes niveles, que van de ligera a extrema (Luis, 2023). A su vez el 70% de esta cifra es degradación moderada a extrema, donde la fertilidad del suelo se encuentra afectada fuertemente. En lo que respecta a las causas de la degradación, el 35% de la superficie nacional está asociada con las actividades agrícolas, mientras que el 7.5% se atribuye a la pérdida de la cubierta vegetal. El resto se reparte entre el desarrollo urbano, el uso excesivo de la flora y las actividades industriales (Semarnat, 2008).

La producción agrícola en México es insatisfactoria en comparación con un consumo en constante crecimiento y una producción cada vez más mecanizada, lo cual provoca la degradación de los suelos. Asimismo, la disminución de los rendimientos en los cultivos se debe a la sobreexplotación, los elevados índices de deforestación y la erradicación de la cobertura vegetal (Navarro et al., 2000).

Existen algunas prácticas de gestión de suelos destinadas a la agricultura que pueden ocasionar consecuencias nocivas en la calidad del suelo, como el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados y la contaminación generada por el uso de productos químicos. Estos factores propician la erosión, la pérdida de fertilidad y la contaminación del suelo (Hernández–Rodríguez et al. 2010)

La erosión de los suelos representa un proceso dinámico complejo que provoca la degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Lal, 2008), la pérdida de nutrientes (Herrero 2017), la disminución de la productividad agrícola (Pimentel, 2006; Bullock et al., 2017) y el incremento de los costos de producción (Cotler, López y Martínez Trinidad, 2011).

Hoy en día, el estudio de los suelos es un proceso esencial para lograr los rendimientos más elevados en las cosechas (SADER, 2024).

Además, se puede mejorar el rendimiento de los cultivos y la salud general del este, esto es fundamental para un crecimiento sano de las plantas y un alto rendimiento de los cultivos. Por otro lado, el exceso de nutrientes puede provocar problemas como la escorrentía de nutrientes y la contaminación del agua (Biome Makers, 2025).

Los agricultores pueden tomar decisiones informadas para optimizar el rendimiento de los cultivos y la salud del suelo al identificar niveles de nutrientes, pH, posibles problemas y cuellos de botella biológicos (Biome Makers, 2024). El muestreo de suelo que se realiza en el terreno constituye el primer paso para el análisis químico y físico. La atención prestada en la recolección de la muestra del suelo podrá, en gran medida, determinar la validez de los resultados (SADER, 2024).

ANTECEDENTES

El estudio del suelo tiene una larga trayectoria que se remonta a mediados del siglo XIX, momento en el que se crearon los métodos para medir los niveles de nutrientes en el terreno. A lo largo de la década de 1970, las investigaciones del terreno comenzaron a incorporar mediciones del contenido de materia orgánica del mismo, lo cual es esencial para comprender su estado de salud. (Biome Makers, 2025).

Durante el siglo XVIII, el holandés Van Helmond demostró que el dióxido de carbono presente en el aire posee una relación con la alimentación de las plantas. En el siglo XIX, el suizo De Saussure realizó un estudio exhaustivo de las relaciones entre la composición química de las plantas y el suelo. Durante los albores del siglo XIX se nota que tanto el fosfato de calcio como la potasa son minerales inalterables en las plantas. Finalmente, en el año 1840, Von Liebig publicó "La química en sus relaciones con la agronomía", una obra que evidencia que las plantas no se nutren de humus, sino de soluciones minerales, y que el humus es un producto transitorio entre las materias orgánicas vegetales y las sales minerales. Durante 1851, en Nantes se estableció el primer "laboratorio" con el objetivo de comprobar la calidad de los fertilizantes y examinar el terreno (AQM Laboratorios, 2017).

El primer laboratorio de química agrícola y suelos en México fue establecido en el año 1901 bajo la dirección de agricultura. Este laboratorio se encontraba ubicado en los terrenos de la antigua escuela nacional de agricultura y veterinaria, ubicada en San Jacinto, D.F.

Al trasladarse la escuela mencionada a Chapingo en 1924, este laboratorio también fue trasladado a dicho lugar. No obstante, en 1925, el departamento de química, suelos y agronomía de la dirección general de agricultura de la antigua secretaria de agricultura y fomento lo restableció en San Jacinto D.F. Durante los años subsiguientes, este laboratorio proporcionó de manera continua los análisis de suelos, fertilizantes y mejoradores agrícolas, así como una amplia gama de productos agrícolas a los agrónomos de dicha escuela y otras dependencias gubernamentales, así como al público en general, (Moreno, 1988). En 1967 se publica el mapa a escala 1:1.000.000 de los territorios de Francia, algunos de cuyos

fragmentos ya habían sido previamente divulgados. En Francia, el Servicio de Estudio y análisis de Suelos y del Mapa Edafológico fue establecido en 1968 (AQM Laboratorios, 2017).

El martes 31 de diciembre de 2002, la NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 fue publicada en el diario oficial en la segunda sección de la Secretaría de Medio ambiente y Recursos Naturales. Esta norma establece las especificaciones relativas a la fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis.

A lo largo de 2008, se estableció la ENMST (Estrategia Nacional de Gestión Sustentable de Tierras) con el objetivo de seguir los convenios internacionales que combaten la degradación y desertificación del terreno. Esta estrategia explica y subraya la importancia de usar técnicas y prácticas de manejo sostenible para los recursos naturales terrestres, así como las condiciones sociales y económicas que permiten su uso (Semarnat, sf).

MEXSOLAN (Red Mexicana de Laboratorios de Suelo) se estableció el 1 de diciembre de 2021, conmemorando el Día Mundial del Suelo. Esta entidad es parte de la Red Global de Laboratorios de Suelo (GLOSOLAN) y la Red Latinoamericana de Laboratorios de Suelo (LATSOLAN), ambas promovidas por la Alianza Mundial del Suelo (AMS) de la FAO. En la actualidad, la MEXSOLAN cuenta con 40 laboratorios de análisis de terrenos, tanto públicos como privados, repartidos en 22 estados federados (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022). Los laboratorios normalizarán los estudios y los resultados, de manera que sean fiables para los productores y las empresas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023).

En la actualidad, existen 762 laboratorios registrados a nivel global y en Latinoamérica, destacando los avances en los ámbitos de México y Brasil, según lo señaló la representante de la Red Mundial de Laboratorios de Suelos (GLOSOLAN), según la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural en el año 2021.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar los parámetros físicos y químicos básicos del suelo para mejorar la toma de decisiones en el manejo de las prácticas agrícolas de un cultivo, específicamente en la respuesta productiva de maíz en la zona centro del estado de Veracruz.

Objetivos específicos

1. Determinar los parámetros básicos del suelo necesarios para el establecimiento de un cultivo.
2. Realizar un diagnóstico en pre-siembra y en pos-cosecha para evaluar los parámetros físicos y químicos básicos del suelo en el sitio de prueba. (selección del sitio, muestreo, análisis y recomendación del cultivo seleccionado: maíz).
3. Evaluación técnica del desempeño de cinco diferentes implementos utilizados para la labranza o preparación del suelo en el establecimiento de los cultivos.
4. Evaluar la respuesta del manejo en parámetros de planta y rendimiento productivo en la producción de maíz para forraje
5. Realizar una comparativa económica del beneficio-costos de ambos manejos.

Hipótesis

La cosecha con análisis de suelo será mayor que sin análisis de suelo, lo que permitirá ahorrar gastos de fertilizante, combustible, tiempo y mano de obra.

II. LITERATURA REVISADA

2.1 Suelo

Se percibe al suelo como un recurso natural no renovable. En el ámbito agrícola, se define al suelo como la capa de materia fértil que se encuentra en la superficie terrestre y de la cual las plantas obtienen el sustento, los nutrientes y el agua (Semarnat, 2018). Los suelos constituyen una parte fundamental en los ecosistemas, pues se involucra en los procesos hidrológicos, lo que conservan la biodiversidad de especies que en ellos habitan, además son fundamentales para la base en el crecimiento de plantas, por lo que también contribuyen a mantener la productividad agrícola (Marlene Corona, 2022).

En el territorio mexicano, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) evidencia que investigaciones recientes indican que el 64% de los suelos presentan problemas de degradación en diversos niveles, que oscilan entre ligera y extrema.

2.1.1 Formación del suelo

El primer científico en establecer los factores de la formación del suelo fue Hans Jenny en su obra titulada "Factors of Soil Formation: A Primer Científico". "Un Método de Pedología Cuantitativa", que se publicó en 1941. En su libro planteó la Ecuación de los Factores del suelo: $S = f(cl, o, r, p, t)$;

Dónde: S = Suelo, f= en función de, cl= clima, o= organismos, r= relieve, p= roca madre y, t= tiempo.

Los expertos en la disciplina de la ciencia del suelo categorizaron los cinco factores que contribuyen a la formación del suelo como: factores activos y factores pasivos (INTAGRI, 2017).

2.1.2 Composición del suelo

El suelo constituye una combinación de cinco elementos fundamentales, a los que se pueden observar en la Figura 2.1: partículas minerales, agua, aire, materia orgánica y organismos vivos.

Las partículas minerales: Son pequeños pedazos de roca de diferentes tamaños y otros minerales.

Agua: El agua se halla entre las partículas del terreno, donde se crean pequeños conductos. Estos poros, en función de las precipitaciones y la irrigación, se llenan con una cantidad determinada de agua.

Aire: El aire se encuentra entre las partículas que no están llenas de agua.

Materia orgánica: Es la parte viva del suelo. Se refiere a todo aquello que en algún instante estuvo vivo o fue eliminado por algo vivo.

Organismos vivos: Se refiere a todas las entidades biológicas que habitan en el suelo, desde virus, hongos, bacterias hasta animales de tamaño medio, incluyendo las lombrices de tierra, las arañas, los nematodos y el resto de los animales (Neea, 2020).

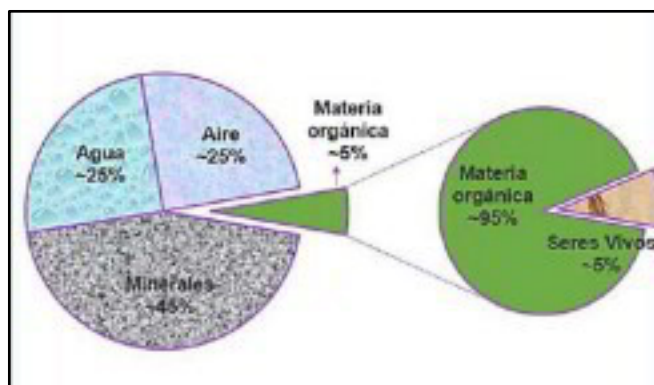


Figura 2. 1 Composición del suelo (Neea, 2020).

2.1.3 Importancia del suelo

El suelo también es la base fundamental para el crecimiento de las plantas, y ayuda al mantenimiento de la vegetación natural y cultivada (FAO, sf). El suelo representa gran importancia debido a que proporciona sustento para todos los organismos vivos que residen en la Tierra (SEP, 2025).

El suelo funciona como la interfaz para regular el ciclo global, por lo que es esencial para la regulación climática. En consecuencia, el suelo constituye un componente fundamental para el ciclo hidrológico, ya que facilita la filtración, el almacenamiento y la provisión de agua. El suelo es la base del 95% de los alimentos que consume la humanidad, sostiene toda la infraestructura humana y es una fuente de fibras, minerales, materiales de construcción y combustibles fósiles. Asimismo, conserva el registro geológico y arqueológico de nuestro planeta. Así pues, es una propiedad social, económica, cultural, política y patrimonial (UNAM, 2022).

2.1.4 El suelo como medio para la producción de alimentos

La sociedad consume el 95% de los alimentos que, de manera directa o indirecta, se generan en el suelo. Es posible afirmar que la disponibilidad de alimentos está directamente vinculada con la calidad del suelo. Además, para garantizar la seguridad alimentaria, la agricultura debe tener suelos saludables. Esto significa suelos que no tengan problemas físicos, químicos o biológicos, que sean productivos de manera sostenible y que causen poco daño al medio ambiente. Se calcula que un tercio de la superficie terrestre está destinada a la agricultura, para una población mundial en constante aumento que podrá alcanzar a los 9000 millones de personas en el 2050 (BURBANO, H. 2016).

2.1.5 Suelo cultivable en el mundo

En términos globales, las áreas dedicadas a la agricultura abarcan aproximadamente 5 000 megahectáreas (Mha), lo que representa el 38 % de la superficie terrestre a escala global. Alrededor de un tercio de la tierra se emplea para la agricultura, mientras que los dos tercios sobrantes se emplean como pastizales y praderas para el pastoreo.

Respecto a los terrenos de cultivo, aproximadamente el 10% de su superficie está destinada a la agricultura permanentemente, en los que se incluyen los árboles frutales y las plantaciones de palmas aceiteras y cacao. El otro 21% restante de la superficie se dispone para riego, que es una práctica relevante de gestión en la tierra para la agricultura.

La superficie de terrenos de cultivo per cápita a nivel global experimentó una disminución, debido a la reducción en la superficie de terrenos cultivables per cápita (FAO, 2020).

2.1.6 Clasificación del suelo

Dependiendo del tamaño de las partículas, se podrá identificar los siguientes tipos de suelos:

1. Gravas.
2. Arenas.
3. Limos.
4. Arcillas.

Conforme a la disposición de las normas expuestas en el cuadro 2.1 por la Norma IRAM 10535, el MIT (Massachusetts Institute of Technology), y los sistemas de clasificación: ASTM D3282-93/97 ó VN – E4 – 84 (H.R.B) y SUCS (Sistema Universal de Clasificación de Suelos).

Cuadro 2. 1 Clasificación de suelos según tamaños de sus partículas (en mm)

	NORMA IRAM 10535	MIT	SUCS	ASTM D3282- 93/97
Gravas	5 a 75	>2	4,75 a 75	2 a 75
Arenas	0,075 a 5	0,06 a 2	0,075 a 4,75	0,075 a 2
Limos	< 0,075	0,002 a 0,060	< 0,075	< 0,075
Arcillas		< 0,002		

Fuente: Universidad Nacional de Rosario 2018.

2.1.7 Distribución de tipos del suelo en México

Según datos del INEGI en 2022 se identificaron 26 clases de suelos en México (Ver Figura 2.2), que de acuerdo con la categorización de la Base de Referencia Mundial (WRB, 2015).

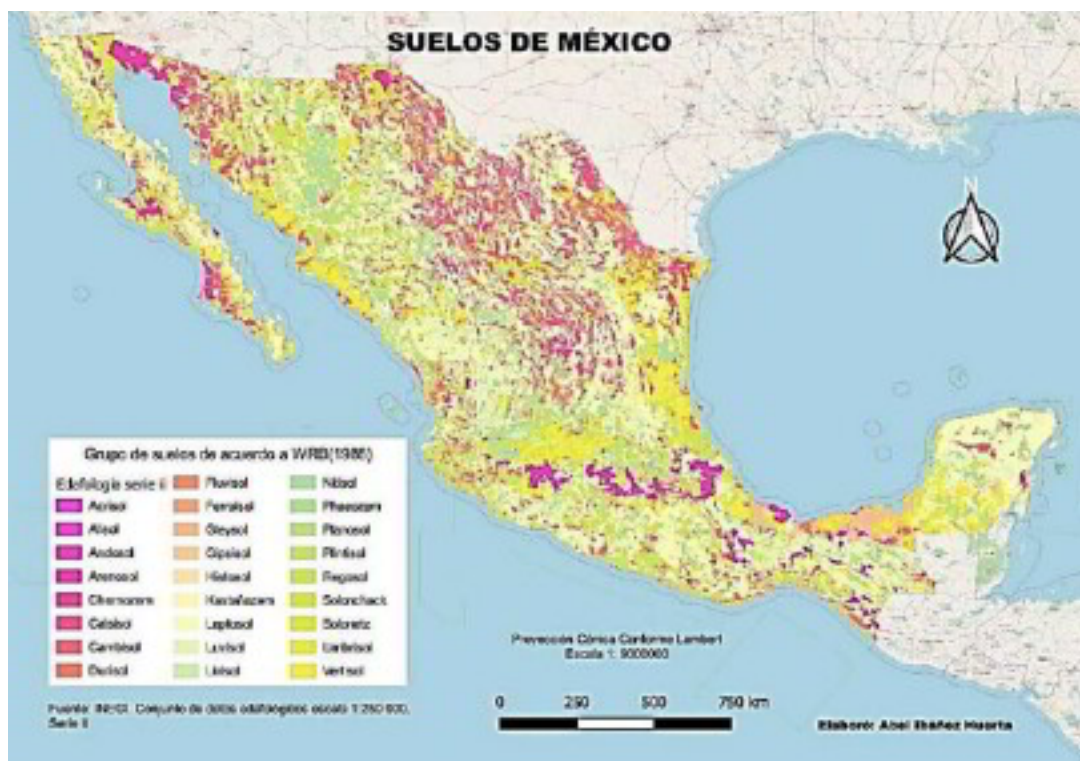


Figura 2. 2 Distribución territorial de tipos de suelo en México (INEGI, 2022).

En cuanto a su abundancia y distribución (Ver Figura 2.3), se puede observar que los suelos jóvenes y poco profundos, tales como leptosoles, regosoles y vertisoles, constituyen el 51 % del territorio. Por otro lado, los suelos desarrollados y profundos, como los phaeozem, calsisoles y luvisoles, constituyen el 30 % de la superficie en nuestra nación (Huerta y Castaño, 2022). La clasificación de los suelos varía porque su formación depende de la geología, clima y la historia biológica del lugar donde se encuentren.

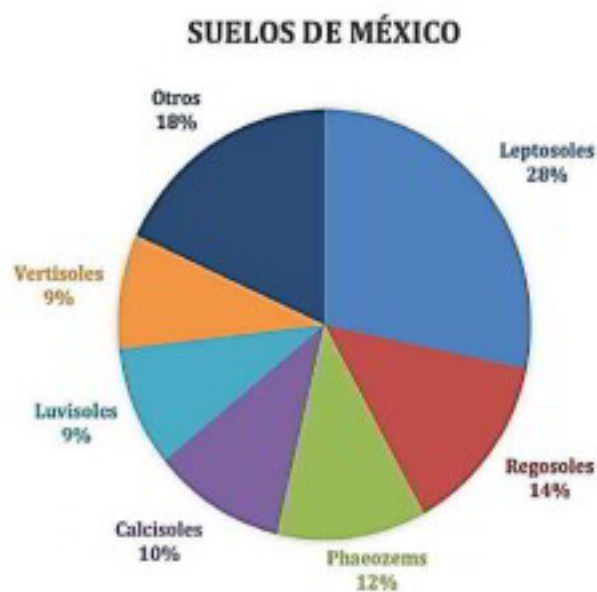


Figura 2. 3 Distribución porcentual de tipos de suelos en México (INEGI, 2022).

2.1.8 Análisis de suelo

El estudio del terreno consiste en recolectar muestras de suelo de diferentes zonas de una finca agrícola, que luego se entregan a un laboratorio acreditado para su evaluación. El laboratorio analiza las muestras para establecer parámetros esenciales. Los parámetros que analiza el laboratorio son físicos, químicos y biológicos entre los parámetros físicos se encuentran la textura, densidad aparente, constantes hídricas, de los parámetros químicos con el pH, salinidad/conductividad eléctrica, nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) y algunos microelementos, dentro de los

parámetros biológicos se pueden determinar la materia orgánica y en algunos casos la presencia de hongos, estos son algunos de los parámetros que el laboratorio puede determinar. El análisis del suelo da a los agricultores información sobre las características de su suelo. Esto les ayuda a tomar decisiones informadas sobre cómo manejar el suelo, mejorando así el rendimiento de las cosechas y la salud del suelo (Plamann y Nix, s.f).

2.1.8.1 Importancia del análisis de suelo

La realización de análisis del suelo agrícola facilita la comprensión de nuestro suelo y la identificación de los nutrientes que este alberga para el cultivo (Calvo, 2017). La evaluación de suelos constituye un instrumento esencial para establecer la fertilidad y el potencial del suelo en una localidad, región, parcela o cualquier otra zona geográfica (Pérez, 2020).

Cualitativamente: El objetivo es determinar el estado o nivel general de fertilidad del suelo, para conocer su carácter neutro, si es ácido o alcalino, su salinidad, y también su contenido en nutrientes, materia orgánica y elementos tóxicos, esto revela si es bajo, apropiado o excesivo.

Cuantitativamente: El análisis fisicoquímico del suelo constituye las recomendaciones de fertilizantes, las cuales determinan las cantidades de enmiendas y fertilizantes a emplear para obtener alta calidad de rendimientos en las cosechas, minimizando la contaminación del entorno natural.

El análisis de suelos tiene como objetivo principal conocer la fertilidad del suelo y detectar los nutrientes que pueden afectar el crecimiento de las plantas, ya sea porque hay demasiado o muy poco de ellos (Pérez, 2013).

2.1.9 Parámetros físicos, químicos y biológicos del suelo

Las características del suelo son fundamentales para determinar la productividad en las unidades de producción agrícola. Estos elementos no solo influyen en el desarrollo y crecimiento de las cosechas, sino que también determinan la sostenibilidad y eficacia del sistema agrícola para poder establecer un cultivo en esa área en específico (García et al, 2024).

Las propiedades físicas ilustran como el suelo guarda y provee agua para las plantas, facilitando así su crecimiento radical.

Las características químicas están vinculadas con la calidad y la presencia de agua y nutrientes para las plantas (Calderón et al., 2004).

Además, la biología del terreno es ampliamente compleja y variable, y la meso y microbiota de este desempeñan un rol crucial en la fragmentación, cambio y traslado de elementos orgánicos en él. Suministran grandes volúmenes de biomasa al terreno y optimizan algunas de sus propiedades físicas (Karyanto, 2012)

Todos estos parámetros (físicos, químicos y biológicos) están relacionados, y dependiendo del cultivo a establecer se le da la importancia a cada uno de ellos, entre los parámetros más importantes están: la textura, densidad aparente, profundidad del suelo, la pendiente del terreno, resistencia a la penetración, pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica.

Cuadro 2. 2 Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo

Indicador	Relación con las funciones y condiciones del suelo
Físicos	
Textura del suelo	Administración y traslado de agua y minerales, erosión del terreno
Profundidad del suelo	Interferencia del potencial productivo y de erosión
Infiltración y densidad aparente	Capacidad de lixiviación, eficiencia productiva y erosión
Capacidad de retención de agua	Relacionado con el contenido de humedad, transporte y erosión
Estabilidad de agregados	Erosión potencial de un suelo, infiltración de agua
Químicos	
Materia orgánica (C y N orgánico)	Fertilidad del suelo, estabilidad y grado de erosión. Potencial productivo
pH	Actividad química y biológica, límites para el crecimiento de las plantas y actividad microbiana
Conductividad eléctrica	Actividad microbiológica de las plantas, límites para el crecimiento de las plantas y la actividad microbiológica.
N, P y K extraíble	Disponibilidad de nutrientes para las plantas y pérdida potencial de N, indicadores de productividad y calidad ambiental
Capacidad de intercambio catiónico	Fertilidad de suelo, potencial productivo
Metales pesados disponibles	Niveles de toxicidad para el crecimiento de la planta y la calidad del cultivo
Biológicos	
Biomasa microbiana (C y N)	Potencial catalizador microbiano y reposición de C y N

N potencial mineralizable	Productividad del suelo y aporte potencial de N
Respiración edáfica, contenido de agua, temperatura del suelo	Medición de la actividad microbiana
Número de lombrices	Relacionado con la actividad microbiana
Rendimiento del cultivo	Producción potencial del cultivo, disponibilidad de nutrientes

Fuente: De Chen (2000) modificado por Acevedo *et al.* (2005)

2.1.10 Principales parámetros físicos del suelo

López y Estrada en 2015 definieron las propiedades físicas del suelo como aquellas que pueden ser observadas y/o cuantificadas sin alterar la composición química del suelo y están vinculadas con el movimiento del aire, el calor, el agua, las raíces y los nutrientes.

2.1.10.1 Textura

La textura muestra el contenido relativo de partículas de diferentes dimensiones, tales como la arena, el limo y la arcilla, en el terreno. La textura se refiere a qué tan fácil es trabajar el suelo, cuánta agua y aire puede retener, y qué tan rápido puede el agua entrar y pasar a través del suelo (FAO, sf).

La textura del suelo se recomienda hacer mediante el procedimiento de Bouyoucos con el método AS-09, aprobado por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, publicado el martes 31 de diciembre de 2002 en el DIARIO OFICIAL (Segunda Sección en las páginas 21-23).

2.1.10.2 Humedad del suelo

El contenido de humedad del suelo hace referencia a la cantidad de agua que hay en él (por cada peso). La capacidad máxima de agua que un suelo puede retener se determina por: la textura y estructura de este, su contenido de materia orgánica, la profundidad de las raíces (FAO, 2015).

Para la determinación del contenido de humedad se recomienda hacerla mediante gravimetría con el método AS-05, aprobado por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, publicado el martes 31 de diciembre de 2002 en el DIARIO OFICIAL (Segunda Sección en la página 16).

2.1.10.3 Densidad aparente

La densidad aparente del suelo señala la relevancia de ciertas características del suelo, tales como: su compactación, su porosidad, el nivel de aireación y la capacidad de infiltración que tiene, factores que inciden en la circulación de agua y aire en el suelo, los procesos de formación de las plantas como emergencia y enraizamiento y la gestión del suelo (Rubio, 2010).

La determinación de la densidad aparente del suelo se recomienda hacer a través del método AS-09 utilizando parafina, avalado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, publicado el martes 31 de diciembre de 2002 en el DIARIO OFICIAL (Segunda Sección en las páginas 13 y 14).

2.1.10.4 Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración es un procedimiento para cuantificar la compactación del suelo. Es esencial conocer su variabilidad espacial para realizar un manejo adecuado de este recurso (Villazón et al., 2022).

La profundidad de la compactación se determina utilizando un penetrómetro, también denominado instrumento de medición de la compactación del suelo. La compactación del suelo constituye una inquietud grave para los agricultores, dado que puede reducir de manera sencilla los rendimientos de los cultivos agrícolas en un 10% y puede provocar la degradación de la calidad del agua y del suelo a causa del aumento de la escorrentía y la devastación de la estructura del suelo.

La determinación de la resistencia a la penetración se recomienda hacer con un penetrómetro tal y como lo describe Crisol en 2020.

2.1.11 Principales parámetros químicos del suelo

Las características químicas se relacionan con la calidad y la accesibilidad del agua y los nutrientes para las plantas (Calderón et al., 2004).

2.1.11.1 pH

El pH señala la habilidad de las partículas terrestres para absorber iones de hidrógeno (H^+), lo que establece si un terreno es ácido o alcalino (Fertilab, 2021).

La determinación del pH del suelo medido en agua se recomienda realizar a través del método AS-02 avalado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, publicado el martes 31 de diciembre de 2002 en el DIARIO OFICIAL (Segunda Sección en las páginas 46-48).

2.1.11.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) es la habilidad de la solución del suelo para mover corriente eléctrica, según la cantidad de sales disueltas o ionizadas que hay en esa solución (USDA, 1999).

La medición de la conductividad eléctrica se recomienda realizar usando el método AS-18, con un conductímetro en el extracto de saturación, aprobado por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, publicado el martes 31 de diciembre de 2002 en el DIARIO OFICIAL (Segunda Sección en las páginas 39-41).

2.1.11.3 Materia orgánica

La materia orgánica del terreno abarca una extensa variedad de sustancias orgánicas que incluyen los seres vivos, la biomasa del suelo, los residuos de organismos y los compuestos orgánicos producidos. Ayuda en la regulación de la fertilidad química, favorece el preservar la biodiversidad y la estructura física de los terrenos (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023).

El procedimiento para la determinación de materia orgánica del suelo se recomienda realizarlo a través del método AS-07, de Walkley y Black, aprobado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, publicado el martes 31 de diciembre de 2002 en el DIARIO OFICIAL (Segunda Sección en las páginas 18-20).

2.1.11.4 Capacidad de intercambio catiónico

Esta propiedad química del suelo se relaciona con la cantidad total de cargas negativas disponibles en la superficie de las partículas del suelo. Se puede definir también como la cantidad total de cationes intercambiables que un suelo en

específico puede o es capaz de retener (cantidad total de carga negativa) (Fertilab, 2023).

La determinación de la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables del suelo se recomienda realizar a través del método AS-12, con acetato de amonio, avalado en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, publicado el martes 31 de diciembre de 2002 en el DIARIO OFICIAL (Segunda Sección en las páginas 27-30).

2.2 Preparación o laboreo del suelo

La preparación del suelo en la producción agrícola tiene un impacto significativo en la productividad y la calidad final del producto final. Sin embargo, si se lleva a cabo de manera intensiva, podría provocar una descomposición excesiva del terreno, erosión, compactación por ruedas y componentes activos de máquinas y equipos (Freitas *et al.*, 2024). El objetivo de preparar el suelo es crear las condiciones adecuadas para que los cultivos crezcan bien, reducir la cantidad de plantas invasoras, mejorar las condiciones para que las semillas germinen y broten, y ayudar a que las plántulas se establezcan. Las operaciones para preparar el suelo deben ayudar a que el agua se infiltre mejor, reducir las pérdidas de agua y sedimentos por erosión, y cambiar las propiedades físicas del suelo (Freitas *et al.*, 2024).

Una buena preparación de suelo puede ayudar a incrementar considerablemente la producción o rendimiento en un 30% (Sacsá, 2019).

2.2.1 Labranza primaria

El propósito de la agricultura primaria es cortar, romper y voltear las capas del suelo con el fin de incorporar toda la vegetación existente en el mismo. Al mismo tiempo, se pueden añadir fertilizantes necesarios en el suelo para la nutrición de

los cultivos. Este tipo de labranza se lleva a cabo habitualmente en un rango de profundidad que oscila entre 15 y 20 centímetros; sin embargo, puede incluso llegar hasta los 50 centímetros o incluso más (Romero, 2002).

Los equipos usados para este propósito son los arados. Según su diseño, pueden soltar el suelo al girarlo, sin cambiar su forma, o bien cortarlo y/o mezclarlo.

a) Araduras de inversión. hace referencia a las zonas donde se modifica el perfil del terreno, siendo estas las zonas de arado de disco y vertedera los equipos de cultivo más empleados. Los dos equipos se distinguen en su diseño, por lo que, a pesar de cumplir con lo mencionado anteriormente, la calidad del trabajo se distingue principalmente por la inversión invertido, el mullimiento y la nivelación posterior del terreno.

b) Araduras que no modifican el perfil del suelo. Los arados de cinceles y subsoladores constituyen una alternativa a los arados de vertedera y disco. En contraposición a estos que generan fisuras en el suelo, dejando la cubierta vegetal en la superficie. Los equipos se distinguen, en términos de profundidad de trabajo y en la cantidad de unidades de corte. Este tipo de trabajo necesita suelos que estén bastante secos, para que se formen las grietas y se logre el efecto que se busca.

c) Araduras que se encargan de cortar y mezclar el perfil del suelo. Las sierras rotativas son los instrumentos que cortan y combinan el perfil del terreno. En un solo paso por el terreno, rompe y mezcla el suelo, creando las mejores condiciones para la siembra (Riquelme et al., s/f).

2.2.2 Labranza secundaria

La agricultura secundaria implica el control de malezas, la incorporación de desechos vegetales y fertilizantes, y la ruptura del sellado superficial del terreno (Ibáñez, 1985). Los equipos agrícolas que se usan producen una mezcla y nivelación del suelo, además de agregar fertilizantes y materiales orgánicos al

terreno, y ayudan a controlar las malas hierbas. El propósito de la agricultura secundaria es la preparación del área de semillas, a través de la utilización de diferentes tipos de rastras y rodillos. El mullimiento de la tierra y la regulación de las malezas deben ser suficientes para garantizar un adecuado desarrollo del cultivo (Riquelme et al., s/f).

La labranza secundaria consiste en romper los terrones o bloques de suelo en varias pasadas con el implemento hasta hacer terrones más pequeños y, a veces, convertir las capas superiores del suelo en polvo. Esto se logra con el rastrillo pulidor. Los implementos más usados para la labranza primaria y secundaria son: los arados de discos, las rastras y el arado de cinceles (Romero, 2002).

2.2.3 Labranza terciaria

Se refiere al trabajo de mover la tierra, como hacer surcos o camas. También incluye actividades después de sembrar el cultivo para controlar las malas hierbas, como el cultivo, el aporque o atierre. Los equipos empleados incluyen surcadores, sembradoras, acamadoras, aporcadores, cultivadores de picos y dispositivos de reja.

2.2.4 Forma de preparación del suelo

La preparación del suelo, llamada labranza, busca crear buenas condiciones para que los cultivos crezcan bien. Esto incluye la germinación de semillas, el crecimiento de raíces y el desarrollo de plantas, y en muchos casos, también ayuda en la formación del fruto. Una buena preparación del suelo puede aumentar la producción del cultivo en un 30% (Grupo Sacsa, 2019).

2.2.4.1 Labranza convencional o tradicional

Implica la utilización intensiva de herramientas de disco, como rastras, rastrillos y arados, con el objetivo de eliminar la superficie del terreno. La cantidad de pasos fluctúa entre 4 y 8, lo cual puede provocar pérdidas anuales de suelo de 10 t/ha, compactación y degradación de los suelos (UPRA, 2021).

Este método implica el uso de maquinaria agrícola para la volteación y arado del suelo. Constituyen surcos profundos y se fusionan las capas superiores del suelo con las capas inferiores.

Entre los beneficios que ofrece este método sobre salen: Dentro de las ventajas que proporciona este método se destacan:

- El suelo se alinea de manera uniforme, lo que facilita la aireación y la incorporación de fertilizantes.
- Disminución de los residuos de cultivos previos
- Prevalencia de enfermedades y plagas, dado que se introducen organismos no deseados.

No obstante, también conlleva ciertos desafíos y obstáculos:

- Mayor degradación del terreno, a causa de la exposición de capas profundas al agua y al viento.
- La pérdida de materia orgánica y microorganismos beneficiosos en el suelo provoca
- La cantidad de combustible y los costos vinculados con la maquinaria pesada son considerables (Jacto 2023).

2.2.4.2 Labranza mínima

Este procedimiento disminuye la alteración del terreno en comparación con la agricultura tradicional. La labranza mínima se lleva a cabo mediante el uso de implementos menos agresivos, como el uso de cinceles o labranza en franjas, permitiendo así la obtención de:

- Observación de la estructura y la materia orgánica del suelo
- Menor erosión y pérdida de nutrientes
- La reducción del consumo de combustible y los gastos en la maquinaria son posibles.

En contraposición, presenta inconvenientes tales como la ineficacia en la eliminación total de las malezas y los residuos de cultivos previos. Por consiguiente, la labranza mínima exige equipos especializados para su correcta implementación mediante el uso de la agricultura inteligente (smart farming) u otros mecanismos (Jacto 2023).

2.2.4.3 Siembra directa

Una de las metodologías de preparación del terreno, tanto manual como mecánica, consiste en la siembra directa en el suelo, sin realizar labrado o con una mínima perturbación. Los restos de cultivos pasados se quedan en la superficie.

Todo esto permite:

- Maximización de la estructura y la materia orgánica del suelo.
- Reducción significativa de la erosión y del uso de combustible
- Reducción de la demanda de maquinaria gastos costos

Por lo tanto, si se utiliza un método sin labrado, podría aumentar la concentración de malezas y enfermedades en la superficie del suelo, lo que podría requerir cambios en la elección de cultivos y en la gestión de plagas (Jacto 2023).

2.2.4.4 Labranza vertical

El laboreo vertical podría constituir una opción como sistema de conservación, aunque pueda ocasionar una reducción mínima del rendimiento en los cultivos. En contraposición, el ahorro energético es significativo (Cavalaris y Gemptos, 2002). Se ha registrado en diversas investigaciones el ahorro energético cuando se emplea el laboreo vertical en comparación con el sistema tradicional (Hoogmoed y Derpsh, 1985; Cadena et al., 2004; Camacho y Rodríguez, 2007). La fuerza requerida para los implementos y la calidad del trabajo están determinadas por factores tales como la resistencia específica del suelo, la profundidad de trabajo, la densidad del suelo y la humedad en el proceso de la operación

Según los autores (Moitzi et al., 2006; Kalk y Hülsbergen, 1999) , el consumo de combustible puede incrementarse de manera proporcional con la profundidad del arado.

2.3 Producción de maíz

El centro de origen del maíz es México, donde reside una asombrosa variedad de este grano. En el país, de las 64 variedades de maíz registradas, 59 son autóctonas (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024).

En el cultivo del maíz, las principales variedades son el blanco y el amarillo. El maíz blanco se elabora únicamente para la ingesta humana, debido a su alto valor nutricional. Y el maíz amarillo se utiliza para el procesamiento industrial y la alimentación de los animales. Ambos se producen en dos ciclos productivos: primavera-verano (PV) y otoño-invierno (OI. (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020).

En México, la actividad agrícola está bajo la responsabilidad de pequeños agricultores de carácter temporal. El 70.5% de las unidades totales de producción en 2014 eran inferiores a 5 hectáreas y estaban asignadas a la siembra de maíz y

frijol, con un limitado respaldo gubernamental, principalmente a través de subsidios asistenciales (Cotler et al., 2020).

2.3.1 Rendimiento promedio en maíz.

En el año 2023, México registró un incremento en la producción de maíz en grano de 27, 549, 918 toneladas, lo que represento el 87.8% de la producción nacional de granos. A escala global, México se posiciona como el 6° productor de este cereal (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024).

Cuadro 2. 3 producción de maíz en México

Producción de maíz en México (2023)	Toneladas
Maíz grano	27,549,918
Maíz palomero	246
Maíz forrajero	15,400,000

Fuente: (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024)

En el estado de Veracruz, se utilizan 1,456,305 hectáreas para la agricultura. El cultivo más importante es el maíz, con 566,509 hectáreas dedicadas a su producción, lo que representa el 40.9% de la superficie total cultivada y un rendimiento de 1.9 toneladas por hectárea (Hernández et al., 2014).

2.3.2 Como aumentar el rendimiento del maíz.

Este propósito demanda un enfoque que incluya desde la elección de semillas hasta las prácticas de gestión agronómica. Algunas de las prácticas fundamentales son:

- Selección de semillas con una productividad y resistencia superiores.
- Gestión adecuada del suelo y de la alimentación. Es fundamental ajustar su fertilización y estructura a las necesidades del cultivo. Naturalmente, es fundamental llevar a cabo una fertilización equilibrada que contemple una correcta aportación de nitrógeno, fósforo y potasio, los tres elementos más esenciales para el cultivo, junto con zinc y boro, que también son fundamentales y aportan en la formación del grano.
- El riego eficiente. La selección del sistema es esencial, así como la implementación de sistemas de seguimiento de la humedad, para identificar el estrés hídrico como la acumulación de agua.
- El control de plagas y enfermedades. Para incrementar la productividad del cultivo de maíz, es necesario enfrentar los diferentes tipos de estrés biótico que puedan surgir.
- La densidad de siembra y el espaciamiento: Por lo tanto, es imprescindible para garantizar un adecuado acceso a la luz, agua y nutrientes, y el espacio en los surcos y las plantas para optimizar la exposición a la luz solar.
- Se pueden implementar las prácticas de gestión agronómica, las cuales comprenden la rotación de cultivos con el fin de mejorar la salud del suelo y minimizar la presión de plagas y afecciones (Manvert, 2024).

Otras prácticas en el cultivo del maíz que son importantes son:

- Debe mantenerse un pH idóneo en el suelo para garantizar la disponibilidad de nutrientes y el óptimo desarrollo de las plantas. Se recomienda un pH de 6 a 7.2 (calculado en agua). Debe tener en cuenta que el maíz presenta una tolerancia deficiente a un pH bajo (<5.0), ya que la toxicidad de aluminio puede disminuir el crecimiento radical y la toxicidad de manganeso disminuirá el crecimiento global de la planta.
- Es esencial que el suelo posea una estructura adecuada para garantizar un desarrollo radicular robusto y un desarrollo general óptimo. El maíz es incapaz de tolerar el suelo compactado. También es esencial mantener las plantas bien hidratadas, especialmente durante la floración, para lograr una buena fertilización de la mayoría de las semillas (Yara, 2019).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales y equipos empleados

Durante la realización de esta investigación se utilizaron los materiales y equipos que se detallan a continuación:

1. Cava hoyos
2. 30 latas de aluminio
3. Navaja
4. Estufa de secado
5. Bascula digital
6. Penetrómetro FIELDSCOUT SC900
7. Arado de tres discos
8. Arado de cinco cincheles MF
9. Arado de cinco cincheles PVPC
10. Multipropósito INIFAP
11. Rastra de tiro 32 discos
12. Rastra de levante de 20 discos
13. Tractor New Holland 6610
14. Surcadora de tres líneas
15. Estacas
16. Rafia (pita)
17. Cronómetro
18. Odómetro
19. Sembradora-fertilizadora mecánica para cero labranzas INIFAP
20. Semilla H-520 INIFAP
21. Aspersora con capacidad de 500 L
22. Bordero pequeño de cuatro discos
23. Machetes
24. Palas
25. Azadón
26. Tres botes de plástico
27. Espeque



16. Rafia (pita)



18. Odómetro



26. Azadón



5. Bascula digital



31. Flexómetro

28. ½ litro de Fertilizante inorgánico (Boro (10,00 %p/p), Molibdeno (0,013 %p/p), diluyentes y acondicionadores (89,987 %p/p).

29. Herbicida (Atrazina)

30. Nonio ó Vernier (Pie de rey)

31. Flexómetro

3.2 Ubicación

El lugar donde se trabajó se encuentra dentro de las instalaciones del Campo Experimental Cotaxtla, que forma parte del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) (Figura 3.1), y tiene coordenadas 18°56'22.65" N, 96°11'31.89" en el Municipio de Medellín de Bravo, ubicado en el estado de Veracruz.



Figura 3. 1 Ubicación del terreno.

3.2.1 Clima y precipitación

Conforme a la información proporcionada por el INEGI en 2024, el clima se considera como cálido subhúmedo con lluvias en verano, con una humedad

superior al 68.67% y cálido subhúmedo con lluvias en verano, con una humedad intermedia del 31.33%, el rango de precipitación es de 1 100 – 1 600 mm.

3.3 Selección y análisis de parámetros del suelo para el establecimiento de los cultivos

La investigación se inicia con la determinación de los parámetros fundamentales del suelo requeridos para la instauración de un cultivo. Para tal fin, se llevó a cabo una mesa redonda con análisis y discusión técnica coordinada por investigadores del equipo INIFAP, como pilar metodológico.

Se sabe que los laboratorios acreditados que llevan a cabo el análisis del suelo han normalizado la determinación de los parámetros físicos y químicos esenciales y necesarios. Además, se debatieron los parámetros a determinar dentro del grupo de investigadores y se tomaron en cuenta para este análisis y determinación.

El estudio se llevó a cabo en dos etapas de muestreo, la primera previa a la preparación del terreno para la siembra y la segunda después de la cosecha; en las que se evaluarán y compararán los parámetros físicos y químicos del suelo en cada una de las etapas.

3.4 Recolección de muestras de suelo para análisis en laboratorio

Se recolectaron las muestras antes de la preparación del suelo en diferentes puntos del sitio, se dividió la superficie de una hectárea en 10 partes iguales y se tomó una muestra a la mitad de cada división, con la finalidad de obtener una muestra representativa de todo el sitio (Figura 3.2). Las muestras se extrajeron a tres diferentes profundidades 10, 20 y 30 cm, para ello se ocupó un cavahoyos, 30 latas de aluminio y una navaja; se tomaron cada una de las muestras, se colocaron

en su respectivo recipiente y se comprimió hasta obtener el volumen del contenedor.

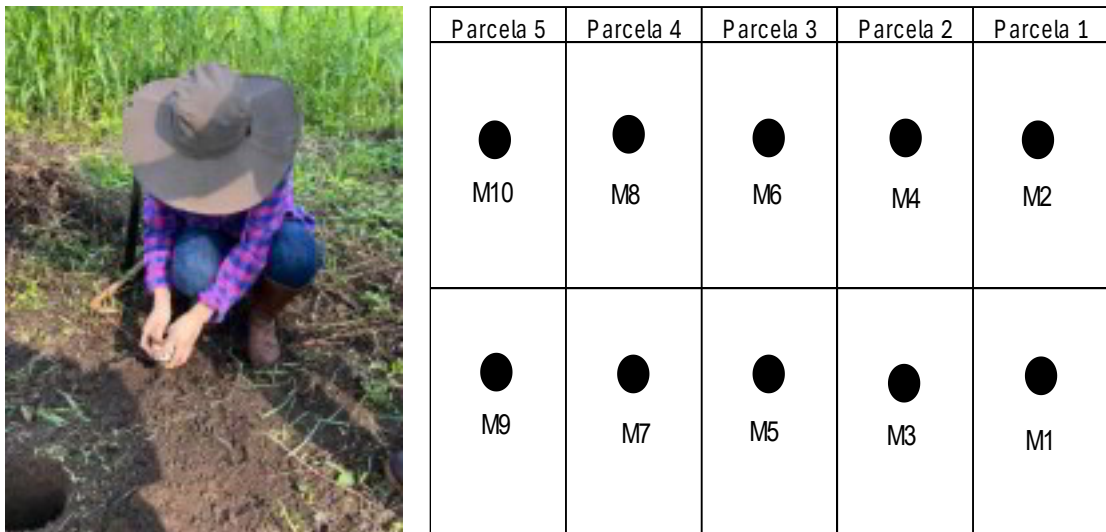


Figura 3. 2 Recolección de muestras de suelo.

3.5 Determinación de parámetros físicos del suelo

Después de la recolección de las muestras se registró el peso de cada una para determinar el peso húmedo, se realizó con una báscula digital. Posteriormente las 30 muestras se metieron a la estufa de secado a 105° C durante 24 horas, después se sacaron las muestras y se pesaron para determinar peso seco (ver figura 3.3) y así poder hacer los cálculos de los parámetros de porcentaje de humedad, densidad aparente y porosidad con sus respectivas formulas.

3.5.1 Contenido de humedad.

Se utilizó la fórmula para calcular el porcentaje de humedad:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{(psh - pss)}{pss} * 100$$

Donde: *psh* = peso de suelo húmedo, *pss*= peso de suelo seco

3.5.2 Densidad aparente

En la determinación de la densidad aparente se empleó la fórmula:

$$Da = \frac{pss}{\text{volumen de cilindro}}$$

El cálculo del volumen del contenedor empleado se llevó a cabo utilizando la fórmula:

$$\text{Volumen de cilindro} = \pi r^2 h$$

Donde: r =radio, h =altura.

3.5.3 Porosidad

Para el cálculo de porosidad se ocupó la fórmula:

$$\% \text{ de porosidad} = \left(1 - \left(\frac{\text{densidad aparente (Da)}}{\text{densidad real}} \right) \right) * 100$$

Para el dato de densidad aparente se ocupó el cálculo hecho con anterioridad, mientras que para el valor de densidad real se tomó el cociente de 2.66 g/cm³, ya que es un valor que se considera estándar para todos los suelos.



Figura 3. 3 Medición de parámetros: porcentaje de humedad, Da y porosidad.

3.5.4 Resistencia a la penetración

Con el penetrómetro se tomaron datos de resistencia a la penetración, se extrajeron 10 muestras a una profundidad de 0-12 pulgadas, se tomaron dos muestras por parcela tomando como punto de la muestra, el centro de cada parcela dividida (ver figura 3.4).

Parcela 5	Parcela 4	Parcela 3	Parcela 2	Parcela 1
 M10	 M8	 M6	 M4	 M2
 M9	 M7	 M5	 M3	 M1



Figura 3. 4 Determinación in situ de resistencia a la penetración.

3.6 Análisis de suelo enviado a laboratorio

Para realizar el análisis de suelo en un laboratorio comercial de los parámetros físicos y químicos del suelo, fue necesario recolectar una muestra de suelo que consistió en 10 puntos que comprendían la totalidad de la muestra representativa del sitio. La muestra se envió sellada y con su etiqueta de identificación, la cual se descargó de la página oficial del laboratorio, los datos fueron: localidad, identificación (de la muestra), predio, coordenadas, profundidad y cultivo. El laboratorio está ubicado en Celaya Gto, con ello se pudo analizar los parámetros fisicoquímicos para determinar el grado de suficiencia o deficiencia de los nutrientes del suelo y así decidir la enmienda que se aplicaría en el predio.

Los parámetros determinados por el laboratorio fueron: Clase textural, punto de saturación, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, conductividad hidráulica, densidad aparente, pH, Carbonatos totales, salinidad, requerimiento de yeso y requerimiento de cal.

3.7 Manejo agronómico del cultivo

En este apartado se describirán las actividades que se realizaron para el manejo del cultivo de maíz desde la preparación del suelo hasta su muestreo en etapa (estado masoso-lechoso para corte en forraje).

3.7.1 Diseño de experimento

Para el establecimiento del experimento en campo, la superficie seleccionada fue de 1ha, dividida en cinco parcelas iguales con dimensiones de 115 m de largo por 17.5 m de ancho (Figura 3.5) para poder establecer dos factores a evaluar:

Primer factor de evaluación

1) Cinco diferentes tratamientos de intensidades labranza:

T1: Arado de tres discos + un paso cruzado de rastra de levante de 20 discos

T2: Arado de cinceles MF + un paso cruzado de rastra de levante de 20 discos

T3: Arado PVPC (Parámetros verticales y profundidad critica) + un paso cruzado de rastra de levante de 20 discos

T4: Equipo Multipropósito

T5: Un paso cruzado de rastra de tiro de 32 discos

T 5	T 4	T 3	T 2	T 1
Parcela 5	Parcela 4	Parcela 3	Parcela 2	Parcela 1
Rastra de tiro de 32 discos	Multiproposito	Arado de PVPC + Rastra de levante	Arado de cinceles M.F + Rastra de levante	Arado de discos + Rastra de levante

Figura 3. 5 Croquis de la distribución de cada uno de los tratamientos de equipos de labranza utilizados para la preparación del suelo.

Segundo factor de evaluación

Dos diferentes dosis de fertilización: la primera sin análisis de suelo, pero con el paquete tecnológico para maíz recomendado por INIFAP en producción de riego otoño /invierno aplicado en 12 surcos de cada una de las parcelas y la segunda dosis recomendada por el laboratorio certificado y posterior a un análisis de suelo aplicado en los nueve surcos restantes (Figura 3.6).

Recomendación del laboratorio (CE)									Paquete tecnológico INIFAP (SE)											
Surco 21	Surco 20	Surco 19	Surco 18	Surco 17	Surco 16	Surco 15	Surco 14	Surco 13	Surco 12	Surco 11	Surco 10	Surco 9	Surco 8	Surco 7	Surco 6	Surco 5	Surco 4	Surco 3	Surco 2	Surco 1

Figura 3. 6 Ejemplo de la distribución de las dos dosis de fertilización en cada parcela.

Para la labranza o preparación primaria y secundaria del suelo se aplicaron las siguientes consideraciones para las pruebas:

- Una sola prueba continua para la medición del consumo de combustible
- Una sola velocidad de operación
- Una sola profundidad de trabajo para todos los tratamientos 0.30 m
- El mismo operador del tractor
- Un solo recorrido del inicio al final de cada parcela para evaluar las variables técnicas de la preparación del suelo
- El mismo tipo de suelo
- Una sola dosis de siembra

Los tratamientos de labranza que se utilizaran son los que se describen a continuación:

T1: Arado reversible de tres discos + un paso cruzado de rastra de levante de 20 discos (ver Figura 3.7)



Figura 3. 7 Implementos agrícolas utilizados para parcela uno.

T2: Arado de cinceles MF + un paso cruzado de rastra de levante de 20 discos (ver Figura 3.8)



Figura 3. 8 Implementos agrícolas utilizados para parcela dos.

T3: Arado PVPC (Parámetros verticales y profundidad crítica) + un paso cruzado de rastra de levante de 20 discos (ver Figura 3.9)



Figura 3. 9 Implementos agrícolas utilizados para parcela tres.

T4: Equipo Multipropósito (ver Figura 3.10).



Figura 3. 10 Implemento agrícola utilizado para parcela cuatro.

T5: Rastra de Tiro de 32 discos (ver Figura 3.11).



Figura 3. 11 Implemento agrícola utilizado para parcela cinco.

Para la evaluación de los sistemas de labranza, las variables a medir fueron:

- Consumo de combustible en: L/ha
- Tiempo Efectivo de Operación en: h/ ha
- Rendimiento de peso en fresco de maíz para forraje en: t/ha

3.7.1.1 Evaluación técnica de equipos para la preparación del suelo

La preparación del suelo, también llamada labranza, tiene como objetivo crear las mejores condiciones para que los cultivos crezcan bien. Esto incluye asegurar que las semillas germinen correctamente, que las raíces y las plantas crezcan adecuadamente, y en muchos casos, que se forme el fruto (SACSA, 2019). Se evaluaron los siguientes parámetros mostrados en el cuadro 3.1

Cuadro 3. 1 Parámetros evaluados para equipos agrícolas utilizados

Parámetro	Unidad de medida
Consumo de combustible	Litros (l)
Tiempo total de la prueba	Hora (h)
Velocidad de operación	km /h y m/s
Tiempo de un recorrido	Hora (h)
Tiempo de una vuelta	Hora (h)
Tiempo de vuelta en la cabecera	Hora (h)
Profundidad de trabajo	Metros (m)
Ancho de trabajo	Metros (m)

La evaluación técnica de los equipos se realizó en el sitio de siembra para cada uno de los implementos utilizados (Figura 3.12)



Figura 3. 12 Medición de parámetros en equipos agrícolas.

3.7.2 Preparación de surcos

Para el surcado se utilizó un equipo de tres hileras (Figura 3.13), se realizó un total de 35 recorridos.

La hectárea tuvo un total de 105 surcos, cada parcela tuvo 21 surcos, de los cuales 12 fueron para paquete tecnológico INIFAP y 9 con la recomendación del laboratorio.



Figura 3. 13 Preparación de surcos.

3.7.3 Siembra y fertilización

La siembra se realizó con una sembradora-fertilizadora mecánica de tres surcos para cero labranzas (Figura 3.14), la semilla utilizada fue maíz híbrido H-520 del INIFAP, clasificada como plano medio. La fecha de siembra y fertilización fue el día 7 de noviembre del año 2024.

La sembradora se calibró para todos los tratamientos a una sola densidad de población de 87,500 semillas por hectárea.

Para la fertilización se aplicaron dos dosis:

La primera dosis aplicada en 12 surcos con el paquete tecnológico recomendado por el INIFAP, pero sin análisis de suelos y en cada uno de los cinco diferentes tratamientos de labranza.

Primera aplicación al momento de la siembra

100 kg de DAP (18%, 46%, 0%) y 150 kg de Urea (46, 00, 00) por hectárea.

Segunda aplicación manual a los 28 días después de siembra

200 kg de Urea (46, 00, 00) por hectárea.

La segunda dosis aplicada en 9 surcos con las recomendaciones hechas por el laboratorio certificado en cada uno de los cinco diferentes tratamientos de labranza:

Primera aplicación al momento de la siembra

No agregar DAP, suelo rico en fósforo con alto nivel de manganeso y muy pobre en Boro.

50 kg de Urea (46, 00, 00) por hectárea.

Segunda aplicación manual a los 28 días después de la siembra (Dds)

Se aplicaron 116 kg de urea (46, 00, 00) por hectárea.

Tercera aplicación con bomba dirigida a la planta a los 40 Dds

Se aplicó Boro en forma foliar 500 ml/ha (producto comercial)



Figura 3. 14 Siembra y fertilización.

3.7.4 Preparación de canales y riego.

El riego utilizado fue riego rodado (Figura 3.15), el cual consiste en formar canales.



Figura 3. 15 Riego rodado en cultivo de maíz.

El bordero que se utilizó fue pequeño de cuatro discos (Figura 3.16). Además de este implemento, se usaron la pala, machete y azadón para empatar y cerrar los canales.



Figura 3. 16 Bordero de cuatro discos.

En el cuadro 4.27 se muestran los riegos de auxilio que se van a realizar en total, cada riego se hará a tope de cada uno de los canales, con aproximadamente 20 cm de altura.

Cuadro 3. 2 Riegos de auxilio en el cultivo

No. de riego	Fecha
1	15 de noviembre 2024 (8 Dds)
2	26 de noviembre 2024 (19 Dds)
3	12 de diciembre 2024 (35 Dds)
4	27 de diciembre 2024 (50 Dds)
5	11 de enero de 2025(67 Dds)

3.8 Prueba de emergencia

A los 25 días después de la siembra se hizo la prueba de emergencia con un cinta-odómetro, libreta y lapicero en la cual se tomó una distancia de 20 metros y tres surcos al azar para cada parcela (Figura 3.17), para esta prueba se contabilizaron las plantas germinadas (Figura 3.18).

T5	T4	T3	T2	T1
Parcela 5	Parcela 4	Parcela 3	Parcela 2	Parcela 1
18vo surco 11vo surco 6to surco	19no surco 13vo surco 7mo surco	20mo surco 11vo surco 1er surco	21ro surco 9no surco 3er surco	19no surco 12vo surco 5to surco

Figura 3. 17 Croquis de prueba de emergencia en el cultivo.



Figura 3. 18 Prueba de emergencia.

3.9 Muestreo de parámetros de plantas

Los días 83 y 84 después de la siembra se realizaron los muestreos de plantas (Figura 3.19), para medir parámetros de longitud de planta, diámetro de planta, peso de planta y peso de mazorca, se ocupó machete, y rafia.



Figura 3. 19 Muestreo de parámetros de plantas.

El muestreo se realizó en campo en cada uno de los cinco tratamientos, el día 83 (Dds) se muestrearon las parcelas 1-5 con la fertilización recomendada por el laboratorio (CE), y el día 84 (Dds) se muestrearon las parcelas 1-5 con el paquete tecnológico INIFAP (SE) (Figura 3.20). Cada parcela tuvo cinco muestreos y cada muestreo fue de 10 metros de largo. La selección de los surcos se realizó al azar y en esa distancia se recolectaron las plantas halladas en el surco.

T5		T4		T3		T2		T1	
Parcela 5		Parcela 4		Parcela 3		Parcela 2		Parcela 1	
Día 83	Día 84	Día 83	Día 84	Día 83	Día 84	Día 83	Día 84	Día 83	Día 84
Fertilización de laboratorio	Fertilización de Paq. Tecnológico INIFAP	Fertilización de laboratorio	Fertilización de Paq. Tecnológico INIFAP	Fertilización de laboratorio	Fertilización de Paq. Tecnológico INIFAP	Fertilización de laboratorio	Fertilización de Paq. Tecnológico INIFAP	Fertilización de laboratorio	Fertilización de Paq. Tecnológico INIFAP

Figura 3. 20 Croquis de los días de muestreo para parámetros de planta.

Para el muestreo se utilizó bascula, Vernier y metro (Figura 3.20).



Figura 3. 21 Muestreo de parámetros de plantas.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Selección y análisis de parámetros del suelo para el establecimiento de los cultivos

Posterior al análisis y consenso del equipo de investigadores del INIFAP se aprobó trabajar con cuatro parámetros físicos (textura, humedad del suelo, densidad aparente y resistencia a la penetración) y cuatro parámetros químicos (pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico), considerando que la información de dichos parámetros básicos son los esenciales y necesarios para el establecimiento de los cultivos, específicamente de los granos básicos.

4.2 Determinación de parámetros físicos del suelo (diagnóstico)

En el cuadro 4.1 se observan los valores promedios obtenidos en campo del porcentaje de humedad de todas las muestras, pero a tres diferentes profundidades 10, 20 y 30 cm, obteniendo 22.87, 20.34 y 21.12 %, respectivamente. Considerando que el rango óptimo también conocido como punto de labor o punto friable del suelo para la mayoría de los cultivos oscila entre 20-40%; los valores calculados corroboran que existen las condiciones apropiadas para realizar la labranza del suelo, dicha información fue descrita por (Cadena, 2009), al evaluar las condiciones óptimas de labor en la producción de maíz.

Cuadro 4. 1 Contenido de humedad de muestras antes de la preparación del suelo (%)

Muestra	Profundidad 10 cm	Profundidad 20 cm	Profundidad 30 cm
M1	20.34	20.86	18.24
M2	22.70	20.35	20.65
M3	23.56	19.71	19.64
M4	22.37	20.30	20.51
M5	22.22	19.76	19.49
M6	23.90	20.82	23.23
M7	23.32	21.96	23.74
M8	26.09	21.22	23.86
M9	20.06	18.63	19.63
M10	24.18	19.83	22.26
Promedio	22.87	20.34	21.12

En el cuadro 4.2 se observan los valores calculados de densidad aparente donde el promedio oscila entre 1.27 y 1.36 g/cm³, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana indica que es un suelo franco. Esto ratifica los resultados de análisis del laboratorio por el método AS-03 utilizando parafina, el cual lo caracteriza como un suelo franco.

Cuadro 4. 2 Densidad aparente de muestras antes de la preparación del suelo (g/cm³)

Muestra	Profundidad 10 cm	Profundidad 20 cm	Profundidad 30 cm
M1	1.19	1.21	1.32
M2	1.22	1.36	1.25
M3	1.40	1.37	1.35
M4	1.22	1.35	1.25
M5	1.23	1.36	1.26
M6	1.28	1.37	1.19
M7	1.26	1.35	1.35
M8	1.39	1.38	1.23
M9	1.32	1.47	1.29
M10	1.23	1.38	1.25
Promedio	1.27	1.36	1.27

El cuadro 4.3 muestra que el porcentaje de porosidad varía entre el 48.87 y el 52.10 %. De acuerdo con la interpretación de porosidad sugerida por el laboratorio Fertilab, un suelo ideal tiene un 50% de porosidad y la porosidad mínima para un correcto crecimiento de la planta en terrenos francos es del 35%, lo que evidencia que es un suelo con un porcentaje de porosidad óptimo.

Cuadro 4. 3 Porosidad de muestras antes de la preparación del suelo (%)

Muestra	Profundidad 10 cm	Profundidad 20 cm	Profundidad 30 cm
M1	55.44	54.38	50.30
M2	54.08	48.79	53.17
M3	47.43	48.64	49.25
M4	54.08	49.40	52.87
M5	53.78	48.79	52.72
M6	51.96	48.49	55.14
M7	52.72	49.09	49.09
M8	47.89	48.04	53.78
M9	50.30	44.86	51.51
M10	53.78	48.19	53.17
Promedio	52.15	48.87	52.10

En el cuadro 4.4 se muestran los valores obtenidos con el penetrómetro en el sitio del experimento, se tomaron desde 1" (2.54 cm) hasta 12" (30 cm). Se observa que a partir de 6 "(15.24 cm), existe al menos un registro de la muestra que supera los 3 MPa; de acuerdo con De León, Payan y Sánchez (1998), mencionan que los valores mayores a 3 MPa indican que existe impedancia mecánica para el crecimiento de las raíces, y que este, requiere labranza o preparación del suelo, para disminuir la compactación del suelo y que el cultivo tenga un buen desarrollo radicular.

Cuadro 4. 4 Datos registrados con penetrómetro en la parcela antes de la preparación del suelo (MPa)

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	Prom
	T1		T2		T3		T4		T5		
Prof	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa
1"	0.24	0.52	0.42	0.21	0.17	0.21	0.28	0.34	0.52	0.59	0.35
2"	0.59	0.91	0.21	0.88	0.39	0.59	1.50	0.49	0.59	0.73	0.69
3"	1.05	1.05	0.56	1.16	0.34	1.54	1.05	1.97	0.56	2.91	1.22
4"	1.12	1.01	0.52	1.58	0.88	1.61	1.58	2.32	0.52	2.98	1.41
5"	1.65	1.33	0.84	0.42	1.40	1.37	0.98	2.42	0.94	2.94	1.43
6"	2.49	1.85	0.88	0.56	3.19	1.12	0.88	3.09	1.54	2.07	1.77
7"	2.10	2.17	1.58	3.90	3.93	1.40	1.97	2.70	3.26	1.93	2.49
8"	2.45	2.98	2.17	2.66	3.61	2.39	1.72	1.93	1.82	1.61	2.33
9"	1.89	2.63	1.82	2.66	3.36	1.72	1.43	1.85	1.68	1.79	2.08
10"	1.85	1.40	1.97	1.82	2.91	1.40	1.16	1.58	1.54	1.65	1.73
11"	1.82	2.10	2.00	1.82	2.39	3.19	1.58	1.37	1.85	1.89	2.00
12"	2.03	1.43	1.85	1.72	2.17	2.42	1.68	1.47	1.58	1.61	1.80

En el cuadro 4.5 se muestra un cuadro resumen de los resultados de la determinación de parámetros físicos hechos en campo, se puede observar que el contenido de humedad es apropiado de acuerdo con Ramón y Zuñiga (2008) que demostraron que el buen desarrollo de la planta ocurre con un porcentaje del 18%. El porcentaje de porosidad es ideal para el buen desarrollo de plantas según Fertilab, de acuerdo con De León, Payan Y Sánchez (1998) y la resistencia a la penetración es apta para el buen crecimiento de raíces

Cuadro 4. 5 Datos promedio de parámetros físicos hechos en campo antes de la preparación del suelo

Profundidad de muestreo (cm)	Contenido de humedad (%)	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)	Resistencia a la penetración (MPa)
10	22.87	1.27	52.15	0.92
20	20.34	1.36	48.87	2.01
30	21.12	1.27	52.1	1.90

4.3 Resultados del análisis de suelo enviado al laboratorio certificado

En el cuadro 4.6 se muestran los resultados de los parámetros físicos y químicos antes de la preparación del suelo proporcionados por el laboratorio certificado.

Cuadro 4. 6 Determinación de parámetros físicos y químicos del suelo (laboratorio certificado)

Parámetros físicos	
Textura	Franco
Densidad aparente (g/cm ³)	1.32
Parámetros químicos	
pH	6.76 (Neutro)
Conductividad eléctrica (dS/m)	0.55 (Bajo)
Materia orgánica (% (p/p))	2.57 (Moderadamente alto)
Capacidad de intercambio catiónico	13.4 (Moderadamente bajo)

4.4 Manejo agronómico del cultivo

Posterior a la determinación del diagnóstico de los parámetros físicos y químicos, se continuó con la preparación del suelo, la cual estuvo compuesta por cinco diferentes tratamientos de intensidades de labranza:

TRATAMIENTO 1: [Arado de disco] + [Paso cruzado de rastra de levante]

TRATAMIENTO 2: [Arado de cinceles M.F] + [Paso cruzado de rastra de levante]

TRATAMIENTO 3: [Arado de PVPC]+ [Paso cruzado de rastra de levante]

TRATAMIENTO 4: [Multipropósito integral]

TRATAMIENTO 5: [Paso cruzado de rastra de tiro]

Se obtuvieron los siguientes resultados:

4.4.1 PREPARACIÓN DEL SUELO (experimento 1)

Tratamiento 1

En el cuadro 4.7 se observan los valores de respuesta de los parámetros de prueba medidos al preparar la labranza primaria del suelo con arado de discos (T1). De acuerdo con los datos obtenidos, el arado de discos o labranza convencional tiene un gran impacto sobre la degradación del suelo, ya que, al invertirlo (suelo desnudo), afecta su estructura y con ello sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Carrasco *et al.*, 2023), se observa también un alto consumo de combustible ya que el tiempo total de la prueba está relacionado con la profundidad de trabajo, la inversión total del perfil del suelo y la elevada demanda de potencia.

Cuadro 4. 7 Parámetros de labranza primaria (Tratamiento 1)

Arado de discos (Tratamiento 1)						
Parámetros de prueba	R1	R2	R3	R4	Promedio	ha
Tiempo de un recorrido (h)	0.016	0.015	0.015	0.015	0.015	N/A
Tiempo de una vuelta (h)	0.043	0.042	0.046	0.044	0.043	N/A
Tiempo de vuelta en la cabecera (h)	0.007	0.005	0.006	0.005	0.006	N/A
Consumo de combustible (l)	4.5*				N/A	22.5
Tiempo total de la prueba (h)	0.610				N/A	3.050
Velocidad de operación	1era/1800 RPM				N/A	
Profundidad de trabajo (m)	0.2				0.2	N/A
Ancho de trabajo (m)	.70				.70	N/A

*Se realizó una prueba continua (sin paro desde inicio hasta el final de la prueba).

En los cuadros 4.8 y 4.9 se muestra la información adquirida durante la preparación de la labranza secundaria, con el paso cruzado de la rastra de levante en el primer tratamiento. ante ayuda a preparar el suelo para plantar, controlar las malas hierbas al mezclar sus restos en la tierra, eliminar bordos de riego, etc. (John Deere, 2025)

Cuadro 4. 8 Parámetros de labranza secundaria (primera pasada de rastra)

1era pasada de rastra de levante (Tratamiento 1)						
Parámetros de prueba	R1	R2	R3	R4	Promedio	ha
Tiempo de un recorrido (h)	0.017	0.016	0.016	0.016	0.016	N/A
Tiempo de una vuelta (h)	0.044	0.040	0.037	0.042	0.041	N/A
Tiempo de vuelta en la cabecera (h)	0.005	0.006	0.006	0.002	0.005	N/A
Consumo de combustible l)	1.6*				N/A	8
Tiempo total de la prueba (h)	0.186				N/A	0.930
Velocidad de operación	1era/1800 RPM				N/A	
Profundidad de trabajo (m)	0.2				0.3	N/A
Ancho de trabajo (m)	2.20				2.20	N/A

*Se realizó una prueba continua (sin paro desde inicio hasta el final de la prueba)

Cuadro 4. 9 Parámetros de labranza secundaria (segunda pasada de rastra)

2da pasada de rastra de levante (Tratamiento 1)						
Parámetros de prueba	R1	R2	R3	R4	Promedio	ha
Tiempo de un recorrido (h)	0.016	0.016	0.016	0.015	0.015	N/A
Tiempo de una vuelta (h)	0.026	0.039	0.042	0.032	0.035	N/A
Tiempo de vuelta en la cabecera (h)	0.004	0.003	0.003	0.005	0.004	N/A
Consumo de combustible (l)	1.4*				N/A	7
Tiempo total de la prueba (h)	0.159				N/A	0.797
Velocidad de operación	1era/1800 RPM				N/A	
Profundidad de trabajo (m)	0.2				0.3	N/A
Ancho de trabajo (m)	2.20				2.20	N/A

*Se realizó una prueba continua (sin paro desde inicio hasta el final de la prueba)

Tratamiento 2

En el cuadro 4.10 se observan los valores de los parámetros medidos en el T2. Los implementos de labranza vertical tipo cincel requieren de una menor cantidad de energía en comparación con el tipo de discos usados en los sistemas de labranza convencional (Camacho y Rodríguez, 2007) por lo tanto, este implemento tuvo un menor consumo de combustible y tiempo total de la prueba, comparado con el arado de discos.

Cuadro 4. 10 Parámetros de labranza primaria (Tratamiento 2)

Arado de cinceles MF (Tratamiento 2)						
Parámetros de prueba	R1	R2	R3	R4	Promedio	ha
Tiempo de un recorrido (h)	0.018	0.016	0.016	0.016	0.016	N/A
Tiempo de una vuelta (h)	0.045	0.045	0.045	0.042	0.044	N/A
Tiempo de vuelta en la cabecera (h)	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	N/A
Consumo de combustible (l)	1.9*				N/A	9.5
Tiempo total de la prueba (h)	0.192				N/A	0.959
Velocidad de operación	1era/1800 RPM				N/A	
Profundidad de trabajo (m)	0.3				0.3	N/A
Ancho de trabajo (m)	1.80				1.80	N/A

*Se realizó una prueba continua (sin paro desde inicio hasta el final de la prueba)

En los cuadros 4.11 y 4.12 se muestran los datos que se tomaron con el paso cruzado de la rastra de levante en la parcela 2, La rastra de levante es ideal para trabajar en lugares estrechos, permite preparar la tierra, controlar malezas y tiene facilidad de maniobra y transporte (John Deere, 2025).

Cuadro 4. 11 Parámetros de labranza secundaria (primera pasada de rastra)

1era pasada de rastra de levante (Tratamiento 2)						
Parámetros de prueba	R1	R2	R3	R4	Promedio	ha
Tiempo de un recorrido (h)	0.016	0.016	0.016	0.016	0.016	N/A
Tiempo de una vuelta (h)	0.042	0.038	0.037	0.037	0.038	N/A
Tiempo de vuelta en la cabecera (h)	0.005	0.005	0.004	0.003	0.004	N/A
Consumo de combustible (l)	1.5*				N/A	7.5
Tiempo total de la prueba (h)	0.154				N/A	0.770
Velocidad de operación	1era/1800 RPM				N/A	
Profundidad de trabajo (m)	0.2				0.3	N/A
Ancho de trabajo (m)	2.20				2.20	N/A

*Se realizó una prueba continua (sin paro desde inicio hasta el final de la prueba)

Cuadro 4. 12 Parámetros de labranza secundaria (segunda pasada de rastra)

2da pasada de rastra de levante (Tratamiento 2)						
Parámetros de prueba	R1	R2	R3	R4	Promedio	ha
Tiempo de un recorrido (h)	0.016	0.016	0.015	0.016	0.016	N/A
Tiempo de una vuelta (h)	0.041	0.039	0.042	0.041	0.041	N/A
Tiempo de vuelta en la cabecera (h)	0.005	0.005	0.004	0.005	0.005	N/A
Consumo de combustible (l)	1.5*				N/A	7.5
Tiempo total de la prueba (h)	0.183				N/A	0.917
Velocidad de operación	1era/1800 RPM				N/A	
Profundidad de trabajo (m)	0.2				0.3	N/A
Ancho de trabajo (m)	2.20				2.20	N/A

*Se realizó una prueba continua (sin paro desde inicio hasta el final de la prueba)

Tratamiento 3

En el cuadro 4.13 se observan los valores de los parámetros medidos en el T3. El arado de cinceles PVPC penetra el suelo, lo que permite aflojar, airear el suelo a gran profundidad y aumentar la capacidad de almacenamiento de agua, mejorando la estructura del suelo (AMJ AGRO, 2025).

Cuadro 4. 13 Parámetros de labranza primaria (Tratamiento 3)

Arado de cinceles PVPC (Tratamiento 3)						
Parámetros de prueba	R1	R2	R3	R4	Promedio	ha
Tiempo de un recorrido (h)	0.019	0.018	0.018	0.019	0.019	N/A
Tiempo de una vuelta (h)	0.051	0.050	0.053	0.053	0.052	N/A
Tiempo de vuelta en la cabecera (h)	0.006	0.007	0.006	0.006	0.006	N/A
Consumo de combustible (l)	2*				N/A	10
Tiempo total de la prueba (h)	0.255				N/A	1.276
Velocidad de operación	1era/1800 RPM				N/A	
Profundidad de trabajo (m)	0.3				0.3	N/A
Ancho de trabajo (m)	1.80				1.80	N/A

*Se realizó una prueba continua (sin paro desde inicio hasta el final de la prueba)

En los cuadros 4.14 y 4.15 se muestran los datos que se tomaron con el paso cruzado de la rastra de levante en la parcela 3, La rastra de levante permite virajes cortos, lo cual facilita vueltas en lugares estrechos (John Deere, 2025).

Cuadro 4. 14 Parámetros de labranza secundaria (primera pasada de rastra)

1era pasada de rastra de levante (Tratamiento 3)						
Parámetros de prueba	R1	R2	R3	R4	Promedio	ha
Tiempo de un recorrido (h)	0.016	0.016	0.015	0.015	0.016	N/A
Tiempo de una vuelta (h)	0.044	0.038	0.036	0.037	0.039	N/A
Tiempo de vuelta en la cabecera (h)	0.007	0.006	0.004	0.002	0.005	N/A
Consumo de combustible (l)	1.5*				N/A	7.5
Tiempo total de la prueba (h)	0.155				N/A	0.777
Velocidad de operación	1era/1800 RPM				N/A	
Profundidad de trabajo (m)	0.2				0.3	N/A
Ancho de trabajo (m)	2.20				2.20	N/A

*Se realizó una prueba continua (sin paro desde inicio hasta el final de la prueba)

Cuadro 4. 15 Parámetros de labranza secundaria (segunda pasada de rastra)

2da pasada de rastra de levante (Tratamiento 3)						
Parámetros de prueba	R1	R2	R3	R4	Promedio	ha
Tiempo de un recorrido (h)	0.016	0.016	0.016	0.015	0.016	N/A
Tiempo de una vuelta (h)	0.041	0.040	0.042	0.043	0.042	N/A
Tiempo de vuelta en la cabecera (h)	0.006	0.003	0.005	0.002	0.004	N/A
Consumo de combustible (l)	1.5*				N/A	7.5
Tiempo total de la prueba (h)	0.182				N/A	0.910
Velocidad de operación	1era/1800 RPM				N/A	
Profundidad de trabajo (m)	0.2				0.3	N/A
Ancho de trabajo (m)	2.20				2.20	N/A

*Se realizó una prueba continua (sin paro desde inicio hasta el final de la prueba)

Tratamiento 4

En el cuadro 4.16 se observan los valores de los parámetros medidos en el T4, el multipropósito realiza la preparación simultánea del suelo en un solo paso, es decir aplica la labranza primaria y secundaria, ya que este equipo está integrado con tres componentes: arado, rastra y desterronador.

Cuadro 4. 16 Parámetros de labranza primaria + secundaria (Tratamiento 4)

Multipropósito (Tratamiento 4)						
Parámetros de prueba	R1	R2	R3	R4	Promedio	ha
Tiempo de un recorrido (h)	0.018	0.018	0.018	0.018	0.018	N/A
Tiempo de una vuelta (h)	0.063	0.050	0.049	0.051	0.053	N/A
Tiempo de vuelta en la cabecera (h)	0.011	0.008	0.007	0.007	0.008	N/A
Consumo de combustible (l)	2*				N/A	10
Tiempo total de la prueba (h)	0.365				N/A	1.823
Velocidad de operación	1era/1800 RPM				N/A	
Profundidad de trabajo (m)	0.3				0.3	N/A
Ancho de trabajo (m)	1.25				1.25	N/A

*Se realizó una prueba continua (sin paro desde inicio hasta el final de la prueba)

Tratamiento 5

En el cuadro 4.17 y 4.18 se observan los valores de los parámetros medidos en la parcela 5, con el implemento agrícola de rastra de tiro de 32 discos. Este implemento tiene como objetivo minimizar el número de pasadas en la preparación de terreno al realizar dos operaciones en una única pasada “Arar y Rastrear”, (John Deere, 2025) para esta preparación se ocuparon dos pasos de rastra.

Cuadro 4. 17 Parámetros de labranza secundaria (primera pasada de rastra)

1era pasada de rastra de 32 discos (Tratamiento 5)						
Parámetros de prueba	R1	R2	R3	R4	Promedio	ha
Tiempo de un recorrido (h)	0.019	0.019	0.017	0.018	0.018	N/A
Tiempo de una vuelta (h)	0.046	0.040	0.037		0.041	N/A
Tiempo de vuelta en la cabecera (h)	0.007	0.002	0.003	0.003	0.004	N/A
Consumo de combustible (l)	2.5*				N/A	12.5
Tiempo total de la prueba (h)	0.122				N/A	0.611
Velocidad de operación	1era/1800 RPM				N/A	
Profundidad de trabajo (m)	0.2				0.2	N/A
Ancho de trabajo (m)	3.50				3.50	N/A

*Se realizó una prueba continua (sin paro desde inicio hasta el final de la prueba)

Cuadro 4. 18 Parámetros de labranza secundaria (segunda pasada de rastra)

2da pasada de rastra de 32 discos (Tratamiento 5)						
Parámetros de prueba	R1	R2	R3	R4	Promedio	ha
Tiempo de un recorrido (h)	0.019	0.018	0.018	0.018	0.018	N/A
Tiempo de una vuelta (h)	0.045	0.042	0.043		0.043	N/A
Tiempo de vuelta en la cabecera (h)	0.008	0.002	0.003	0.003	0.004	N/A
Consumo de combustible (l)	1.2*				N/A	6
Tiempo total de la prueba (h)	0.149				N/A	0.746
Velocidad de operación	1era/1800 RPM				N/A	
Profundidad de trabajo (m)	0.2				0.2	N/A
Ancho de trabajo (m)	3.50				3.50	N/A

*Se realizó una prueba continua (sin paro desde inicio hasta el final de la prueba)

4.4.2 Ficha técnica de los parámetros de desempeño de los equipos utilizados en la preparación del suelo

En el cuadro 4.19 se presenta el resumen o ficha técnica de los promedios de los principales parámetros de desempeño de los equipos utilizados para la preparación de la labranza primaria del suelo para el establecimiento de un cultivo. Del cuadro mencionado, se observa que el consumo de combustible está relacionado directamente con el ancho de trabajo de cada implemento, ya que al tener menor ancho de trabajo como el arado de discos se hacen más recorridos en comparación por ejemplo con el arado de cinceles; el cual tiene hasta el doble en el ancho de trabajo. Similar comportamiento ocurre con el parámetro de tiempo total de la prueba de los equipos al preparar el suelo en la misma superficie. Se omite el T5 porque este solo consta de rastra, lo que lo clasifica como labranza secundaria.

Cuadro 4. 19 Parámetros técnicos de desempeño de diferentes equipos utilizados para la preparación primaria del suelo

Parámetros de prueba	Arado de discos (T1)	Arado de cinceles M.F (T2)	Arado de cinceles PVPC (T3)	Multipropósito (T4)
Tiempo de un recorrido (s)	54	57.6	68.4	64.8
Tiempo de una vuelta (min)	2.58	2.64	3.12	3.18
Tiempo de vuelta en la cabecera (s)	21.6	18	21.6	28.8
Consumo de combustible (L/ha)	22.5	9.5	10	10
Tiempo total de la prueba (h/ha)	3.05	0.959	1.276	1.823
Velocidad de operación	1era/1800 RPM			
Profundidad de trabajo (m)	0.2		0.30	
Ancho de trabajo (m)	.70	1.80	1.80	1.25

En la Figura 4.1 se muestran los resultados de tiempo de un recorrido para los equipos de labranza primaria, se puede observar que el arado de discos ocupa un menor tiempo con 54 segundos, esto debido a que este tipo de implementos de labranza horizontal trabajan a un máximo de profundidad de 0.20 m en comparación con los equipos de labranza vertical que preparan el suelo hasta 0.40 m, los tiempos de registro fueron seguidos por arado de cinceles M.F, multipropósito y arado de cinceles PVPC con 57.6. 64.8 y 68. 4 segundos respectivamente.

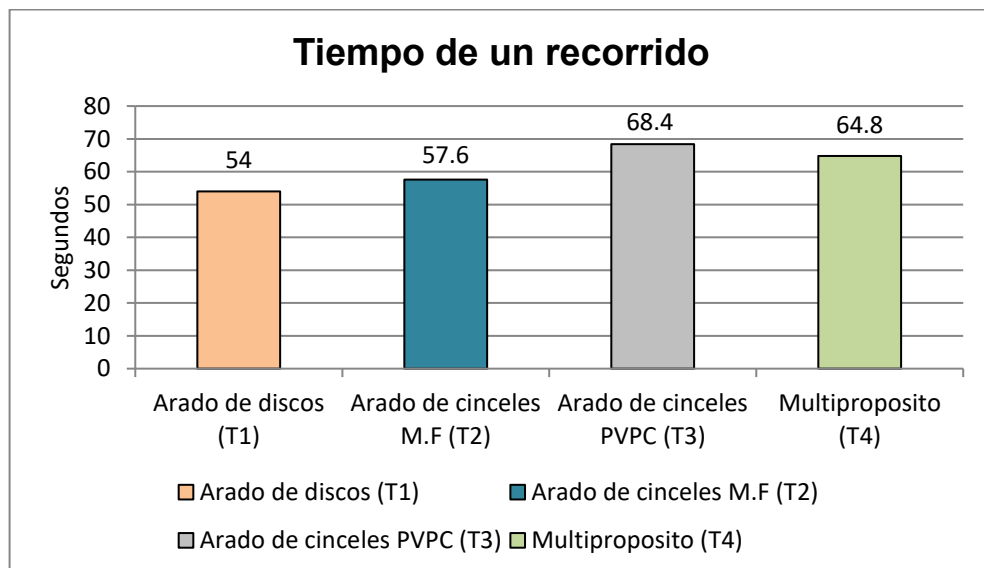


Figura 4. 1 Tiempo de recorrido de equipos utilizados para la preparación primaria del suelo.

En la Figura 4.2 se muestra el tiempo de vuelta en la cabecera, se puede observar que el equipo multipropósito, ocupó más tiempo con 28.8 segundos debido al largo del implemento, seguido de arado de cinceles PVPC, arado de discos y arado de cinceles M.F con 21.6, 21.6 y 18 segundos respectivamente.

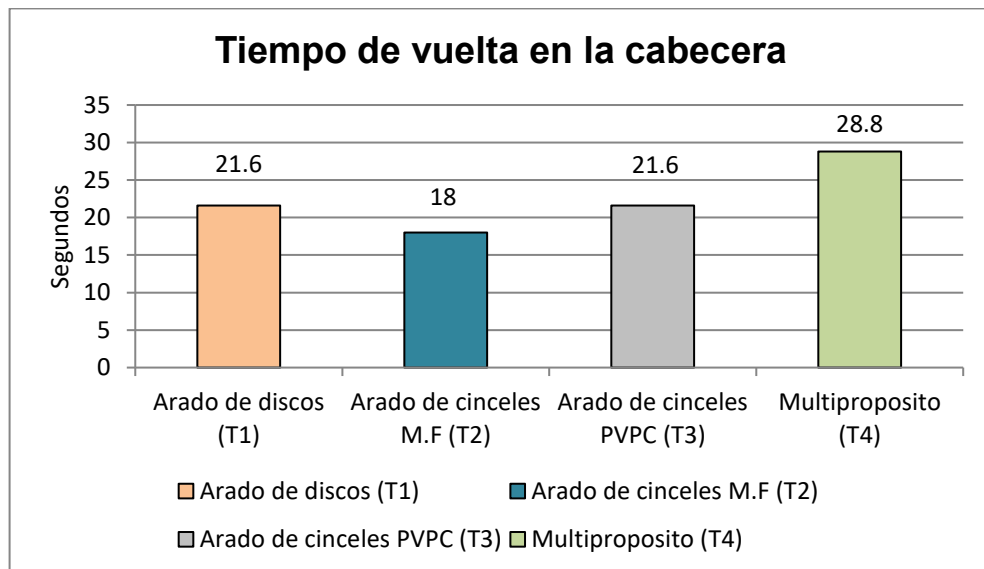


Figura 4. 2 Tiempo de vuelta en la cabecera de equipos utilizados para la preparación primaria del suelo.

La Figura 4.3 muestra los valores del tiempo de una vuelta completa, en los implementos de labranza primaria usados, se puede observar que el multipropósito al contar con tres secciones de trabajo ocupa un mayor tiempo con 3.18 minutos, debido a la longitud del implemento y por la manipulación del equipo al dar la vuelta en la cabecera, seguido de arado de cinceles PVPC, arado de cinceles M.F y arado de discos con 3.12, 2.64 y 2.58 respectivamente.

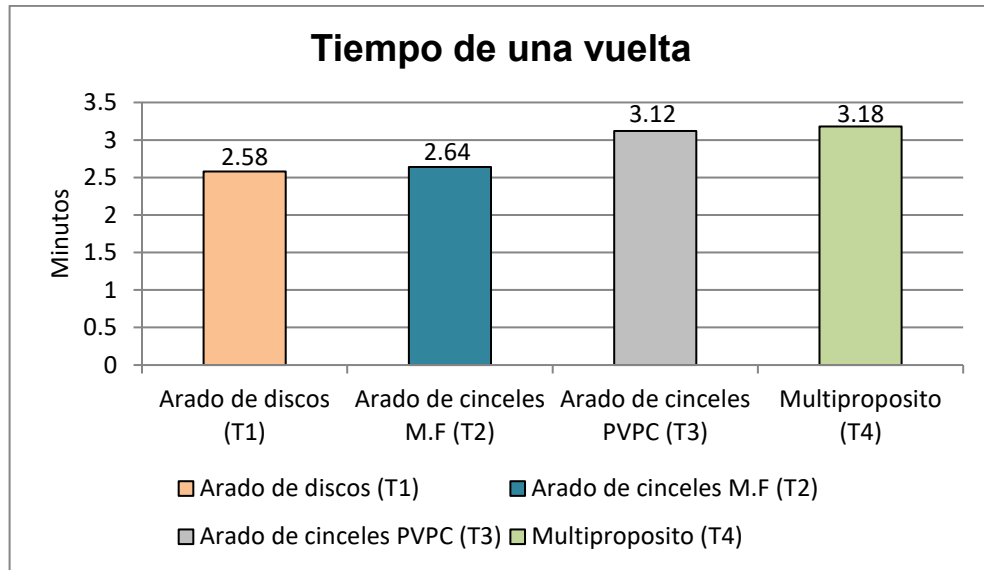


Figura 4. 3 Tiempo de vuelta de equipos utilizados para la preparación primaria del suelo.

En la Figura 4.4 se muestra el tiempo total de la prueba de cada uno de los equipos de labranza primaria se observa que el arado de discos tiene un mayor registro de tiempo con 3.05 horas, esto ocasionado por el estrecho ancho de trabajo del equipo con apenas 0.70 m por cada recorrido, por lo que ocupa un mayor número de recorridos para trabajar el terreno, seguido de este equipo se encuentra el multipropósito, arado de cinceles PVPC y arado de cinceles M.F con 1.82, 1.27 y 0.95 horas, respectivamente.

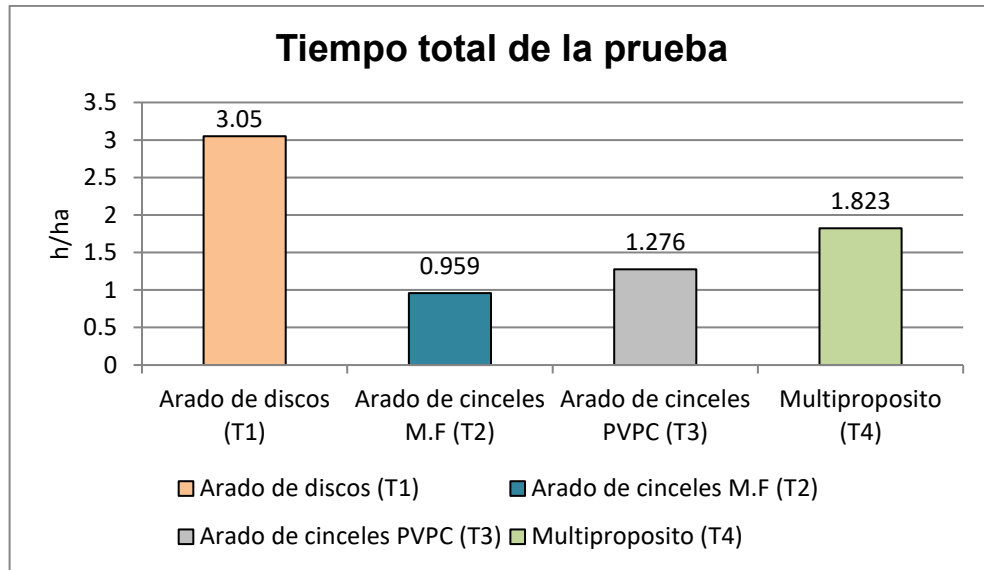


Figura 4. 4 Tiempo total de la prueba de equipos utilizados para la preparación primaria del suelo.

En la Figura 4.5 se observa que el consumo de combustible fue superior en (T1) arado de discos con 22.5 l/ha, comparado con cualquiera de los implementos restantes, pero con labranza vertical. Así mismo, el T3 y T4 registraron un funcionamiento similar con un ahorro del 55.55 % y el T2 con un ahorro del 57.77 % respectivamente, al realizar la preparación del suelo en las mismas condiciones de prueba. Resultados similares fueron encontrados por (Reynolds *et. al.*, 2022)

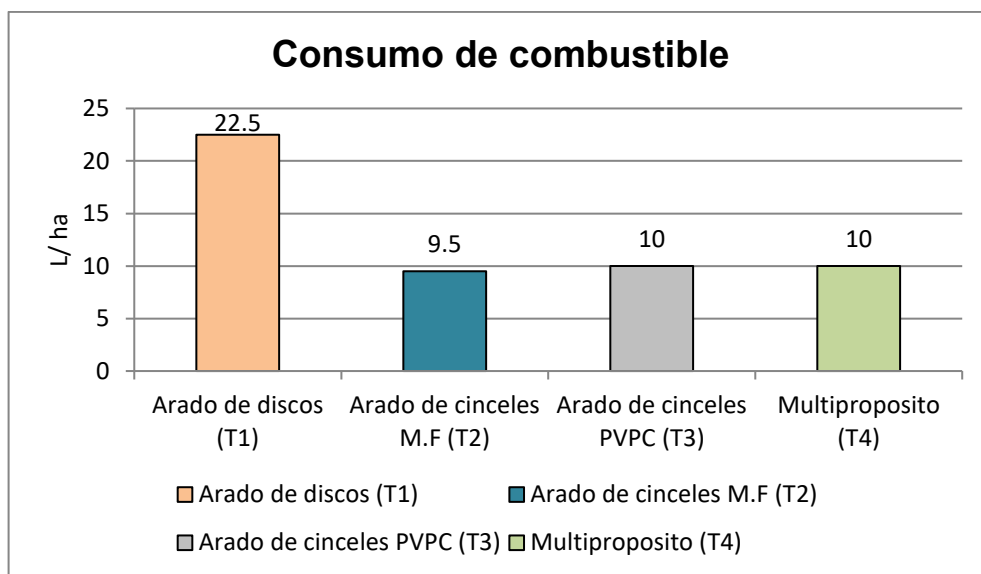


Figura 4. 5 Consumo de combustible de equipos utilizados para la preparación primaria del suelo.

En la Figura 4.6 se puede observar que el menor ancho de trabajo es el arado de discos con 0.7 metros, por lo está implemento ocupa un mayor número de recorridos (143 recorridos) en comparación con los otros implementos, por lo que el tiempo total y consumo de combustible serán mayores; seguido está el multipropósito con (80 recorridos) y finalmente el arado de cinceles M.F y PVPC, ambos con (56 recorridos).

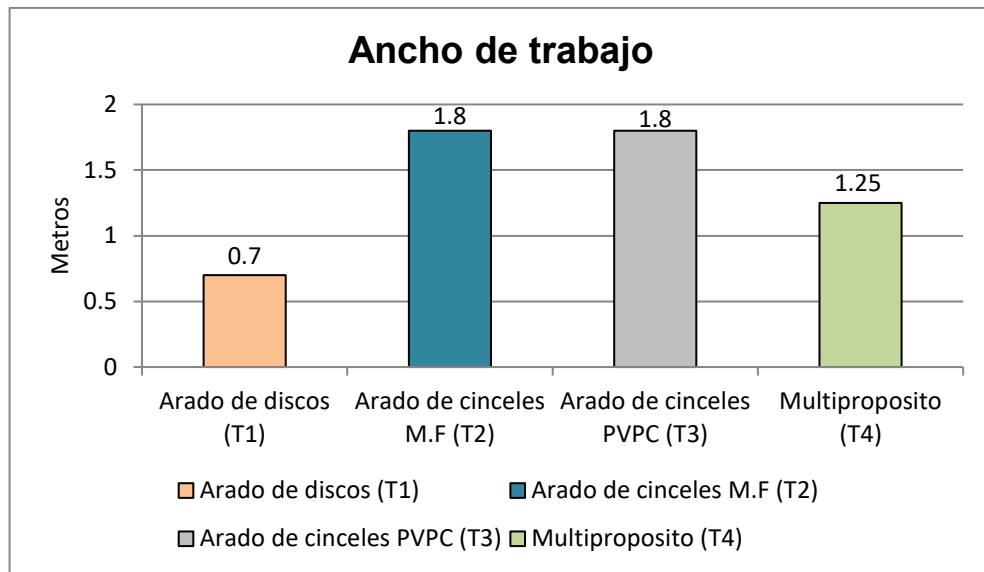


Figura 4. 6 Ancho de trabajo de equipos utilizados para la preparación primaria del suelo.

En el cuadro 4.20 se muestran dos diferentes equipos para la preparación secundaria del suelo, allí se observa un menor tiempo y consumo de combustible en la rastra de 32 discos, ya que este equipo cuenta con un mayor ancho de trabajo por lo que el número de vueltas en el terreno se reduce, validando lo dicho por John Deere (2025). También del mismo cuadro, se puede observar un mayor consumo de combustible y tiempo total de la prueba al realizar el primer paso de rastra sobre el tratamiento de labranza primaria aplicada con arado de discos, esto debido al tipo de terrón y altura de explosión del suelo provocado por la misma intensidad de labranza horizontal. Se omite el T4 (multipropósito) ya que este implemento se contempla en la labranza primaria.

Cuadro 4. 20 Parámetros de desempeño de dos diferentes equipos utilizados para la preparación secundaria del suelo

Parámetros de prueba	1era pasada				2da pasada			
	Rastra de levante (T1)	Rastra de levante (T2)	Rastra de levante (T3)	Rastra de 32 discos (T5)	Rastra de levante (T1)	Rastra de levante (T2)	Rastra de levante (T3)	Rastra de 32 discos (T5)
Tiempo de un recorrido (s)	57.6	57.6	57.6	64.8	57.6	57.6	57.6	64.8
Tiempo de una vuelta (min)	2.46	2.28	2.28	2.46	2.1	2.46	2.46	2.58
Tiempo de vuelta en la cabecera (s)	18	14.4	18	14.4	14.4	18	18	14.4
Consumo de combustible (L/ha)	8	7.5	7.5	6	7	7.5	7.5	6
Tiempo total de la prueba (h/ha)	0.93	0.77	0.777	0.611	0.797	0.917	0.91	0.746
Velocidad de operación	1era/1800 RPM							
Profundidad de trabajo (m)	0.2							
Ancho de trabajo (m)	2.2	2.2	2.2	3.5	2.2	2.2	2.2	3.5

En la Figura 4.7 se muestran los datos de tiempo de un recorrido en la labranza secundaria, se observa que la rastra de 32 discos es la mayor con 64.8 segundos, y la rastra de levante la menor con un 57.6 segundos, lo que tiene un ahorro del 11.11%

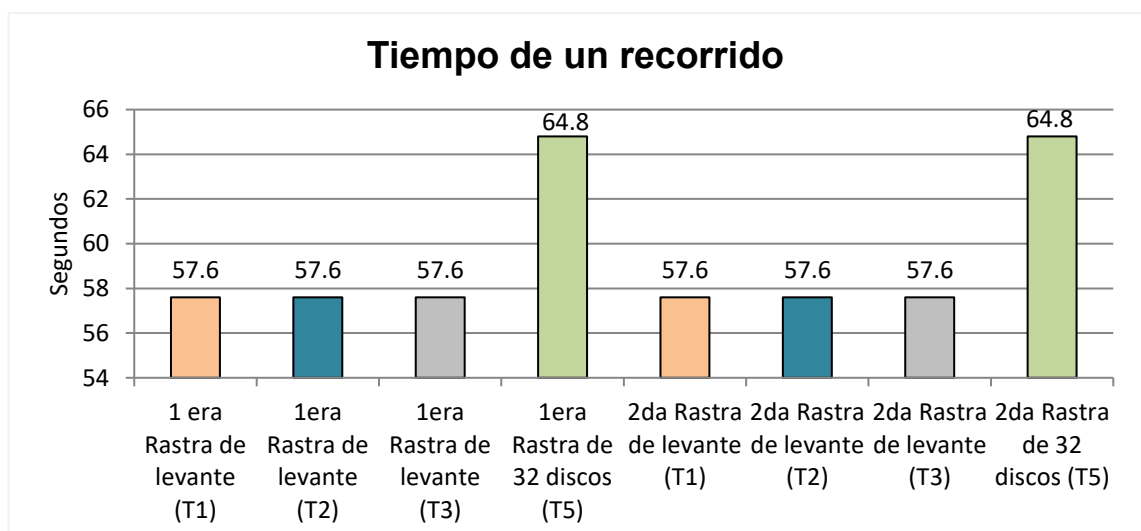


Figura 4. 7 Tiempo de recorrido de equipos utilizados para la preparación secundaria del suelo.

En la figura 4.8 se muestra el tiempo de una vuelta en la cabecera, esto depende de las maniobras que realice el operador en el terreno, pero se observa que la rastra de 32 discos es la que menos tiempo ocupa para la vuelta en la cabecera.

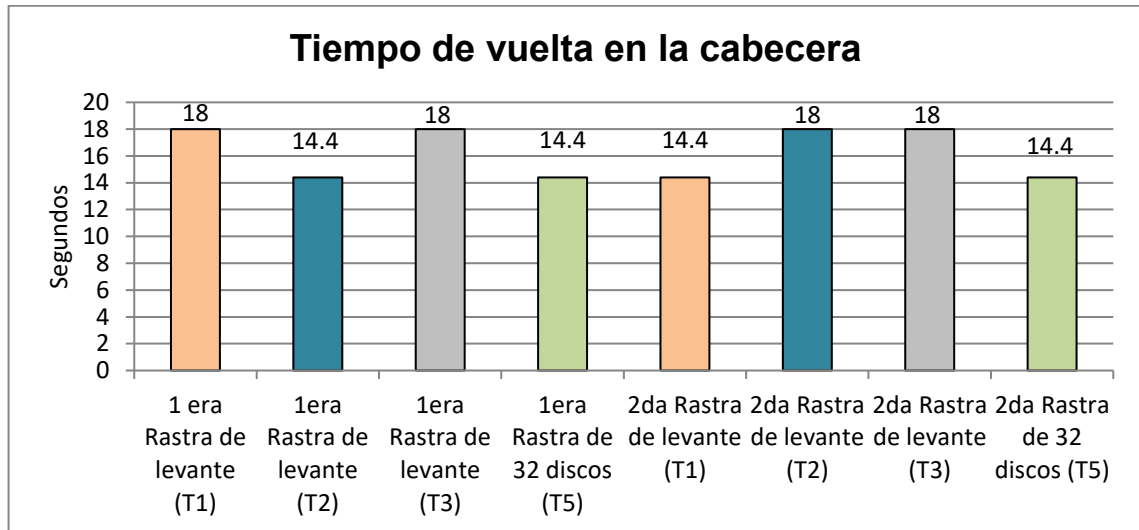


Figura 4. 8 Tiempo de vuelta en la cabecera de equipos utilizados para la preparación secundaria del suelo.

En la figura 4.9 se muestra el tiempo de una vuelta de la labranza secundaria, se observa que la rastra de levante ocupa menor tiempo que la rastra de 32 discos.

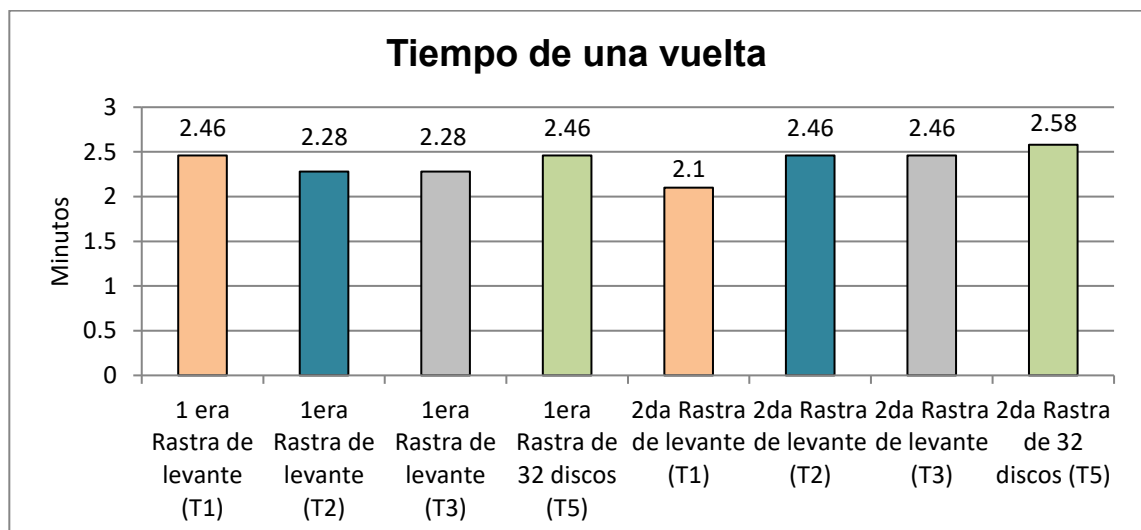


Figura 4. 9 Tiempo de una vuelta de equipos utilizados para la preparación secundaria del suelo.

En la Figura 4.10 se muestran los resultados del tiempo total de la prueba, se observa que la rastra de levante ocupa mayor tiempo en el T1 con el arado de discos, por otra parte, la rastra de 32 discos es la que ocupa el menor tiempo dado su ancho de trabajo, ya que requiere de menos vueltas para cubrir la misma superficie del terreno y la profundidad a la que trabaja.

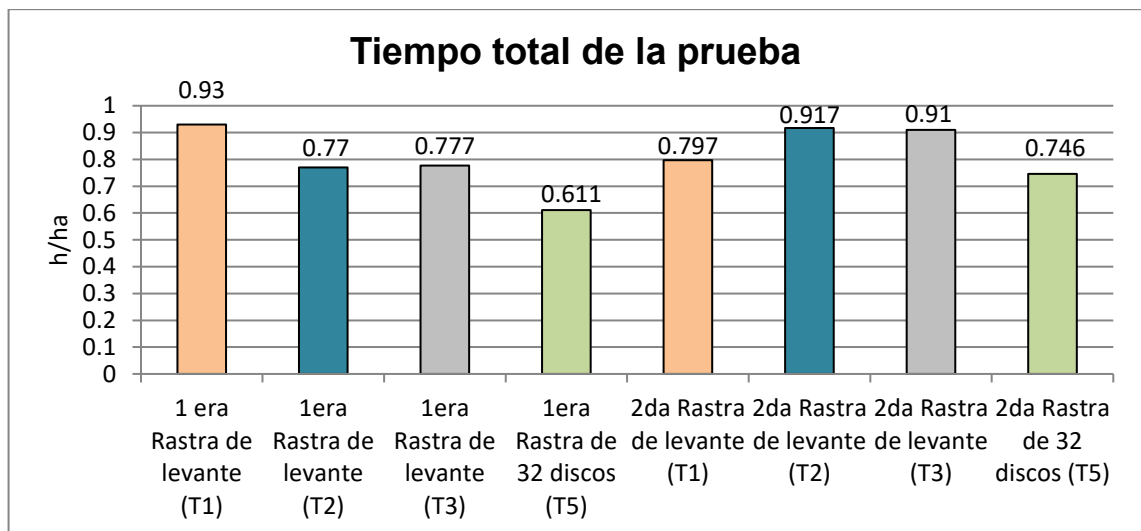


Figura 4. 10 Tiempo total de la prueba de equipos utilizados para la preparación secundaria del suelo.

En la Figura 4.11 se muestran los resultados de consumo de combustible, se observa que la rastra de levante ocupa mayor consumo de combustible en el T1 con arado de discos, y por otra parte, la rastra de 32 discos requiere del menor consumo de combustible en comparación con la de levante, esto por el tiempo total de la prueba y el ancho de trabajo del implemento.

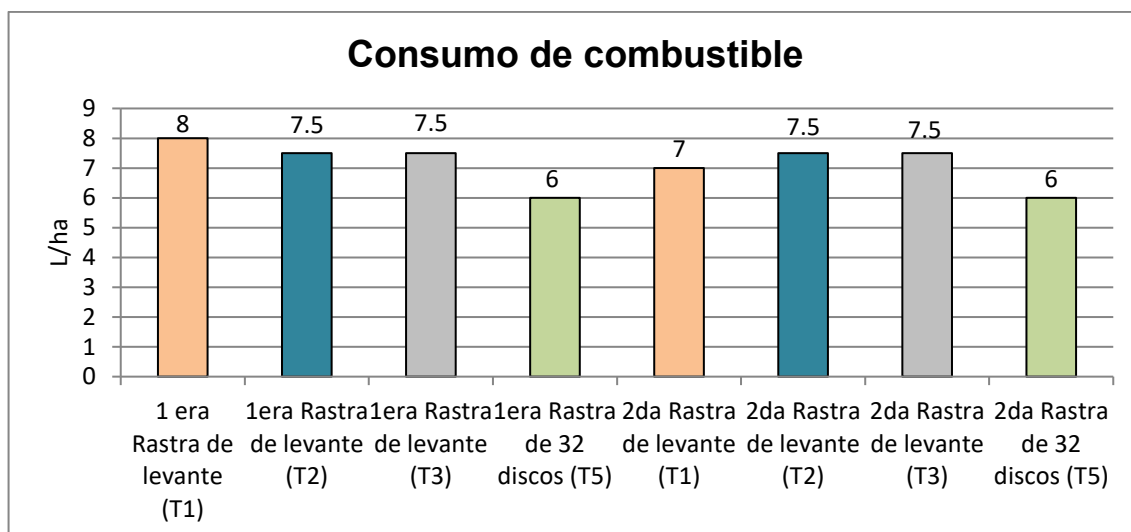


Figura 4. 11 Consumo de combustible de equipos utilizados para la preparación secundaria del suelo.

4.4.3 Desempeño individual de los equipos utilizados en la preparación del suelo en la evaluación de los parámetros con los cinco tratamientos por hectárea.

En los cuadros 4.21, 4.22, 4.23, 4.24 y 4.25 se muestran los resultados de desempeño de los parámetros, con los cinco tratamientos utilizados para la preparación primaria y secundaria del suelo por hectárea.

Cuadro 4. 21 Evaluación de desempeño del T1: Arado reversible de tres discos dos pasos cruzados de rastra de levante de 20 discos

Parámetros de prueba	Labranza primaria	Labranza secundaria (1ra. Pasada)	Labranza secundaria (2da. Pasada)	Total
Consumo de combustible (l)	22.5	8.0	7.0	37.5
Tiempo total de la prueba (h)	3.050	0.930	0.797	4.777
Velocidad de operación	1era/1800 RPM			1era/1800 RPM
Tiempo de recorridos (h)	2.100	0.800	0.750	3.650
Tiempo de las vueltas (h)	3.010	1.025	0.875	4.910
Tiempo de vueltas en la cabecera (h)	0.828	0.245	0.196	1.269
Profundidad de trabajo (m)	0.20	0.20	0.20	0.20

Cuadro 4. 22 Evaluación de desempeño T2: Arado de cinceles MF + dos pasos cruzados de rastra de levante de 20 discos

Parámetros de prueba	Labranza primaria	Labranza secundaria (1ra. Pasada)	Labranza secundaria (2da. Pasada)	Total
Consumo de combustible (l)	9.50	7.5	7.5	24.5
Tiempo total de la prueba (h)	0.959	0.770	0.917	2.646
Velocidad de operación	1era/1800 RPM			1era/1800 RPM
Tiempo de recorridos (h)	0.640	0.640	0.624	1.904
Tiempo de las vueltas (h)	0.880	0.760	0.820	2.460
Tiempo de vueltas en la cabecera (h)	0.195	0.156	0.195	0.546
Profundidad de trabajo (m)	0.30	0.20	0.20	N/A

Cuadro 4. 23 Evaluación de desempeño T3: Arado PVPC (Parámetros verticales y profundidad crítica) + dos pasos cruzados de rastra de levante de 20 discos

Parámetros de prueba	Labranza primaria	Labranza secundaria (1ra. Pasada)	Labranza secundaria (2da. Pasada)	Total
Consumo de combustible (l)	10	7.5	7.5	25.0
Tiempo total de la prueba (h)	1.276	0.777	0.910	2.963
Velocidad de operación	1era/1800 RPM			1era/1800 RPM
Tiempo de recorridos (h)	0.950	0.640	0.640	2.230
Tiempo de las vueltas (h)	1.300	0.780	0.840	2.920
Tiempo de vueltas en la cabecera (h)	0.294	0.195	0.156	0.645
Profundidad de trabajo (m)	0.30	0.20	0.20	N/A

Cuadro 4. 24 Evaluación de desempeño T4: Equipo Multipropósito

Parámetros de prueba	Labranza primaria + secundaria	Total
Consumo de combustible (l)	10	10
Tiempo total de la prueba (h)	1.823	1.823
Velocidad de operación	1era/1800 RPM	1era/1800 RPM
Tiempo de recorridos (h)	1.296	1.296
Tiempo de las vueltas (h)	1.855	1.855
Tiempo de vueltas en la cabecera (h)	0.552	0.552
Profundidad de trabajo (m)	0.30	0.30

Cuadro 4. 25 Evaluación de desempeño T5: Dos pasos de rastra de tiro de 32 discos

Parámetros de prueba	Labranza secundaria (1ra. Pasada)	Labranza secundaria (2da. Pasada)	Total
Consumo de combustible (l)	12.5	6	18.5
Tiempo total de la prueba (h)	0.611	0.746	1.357
Velocidad de operación	1era/1800 RPM		1era/1800 RPM
Tiempo de recorridos (h)	0.540	0.540	1.080
Tiempo de las vueltas (h)	0.615	0.645	1.260
Tiempo de vueltas en la cabecera (h)	0.116	0.116	0.232
Profundidad de trabajo (m)	0.20	0.20	0.20

En el cuadro 4.26 podemos observar un resumen de los cinco tratamientos para la preparación de una hectárea, se observa que el T4 (Multipropósito) requiere menor consumo de combustible, esto debido a que este equipo realiza la preparación primaria y secundario del suelo en una sola pasada, mientras que el T5 (rastra de tiro de 32 discos) requiere menor tiempo, esto dado, por la menor profundidad de trabajo y el mayor ancho de trabajo del implemento. Los cinco tratamientos tienen diferente comportamiento, pero el que más afecta las condiciones del suelo es el T1 (arado de discos) de acuerdo con Carrasco *et al.*, (2023) el arado de discos afecta las propiedades físicas y biológicas del suelo, además este tratamiento requiere un mayor consumo de combustible y mayor tiempo de operación para la preparación del suelo.

Cuadro 4. 26 Evaluación de los cinco tratamientos diferentes para la preparación primaria + secundaria del suelo en una hectárea

Parámetros de prueba	Tratamientos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Consumo de combustible (l)	37.5	24.5	25	10	18.5
Tiempo total de la prueba (h)	4.777	2.646	2.963	1.823	1.357
Velocidad de operación	1era/1800 RPM				
Tiempo de recorridos (h)	3.65	1.904	2.23	1.296	1.08
Tiempo de las vueltas (h)	4.91	2.46	2.92	1.855	1.26
Tiempo de vueltas en la cabecera (h)	1.269	0.546	0.645	0.552	0.232
Profundidad de trabajo (m)	0.20	N/A	N/A	0.30	0.20

En la Figura 4.12 se muestra el consumo de combustible de los diferentes escenarios de tratamientos, el T4 (Multipropósito) ahorra un 73.33% de combustible en comparación con el T1 (Arado de discos + un paso cruzado de rastra de levante), mientras que el T5, T2 Y T3 tienen un ahorro del 50.66, 34.66 y 33.33 % respectivamente comparados con el T1. Es importante mencionar que de acuerdo con el último censo de maquinaria agrícola (ENA,2019) el arado de discos es el implemento más utilizado para la preparación primaria del suelo.

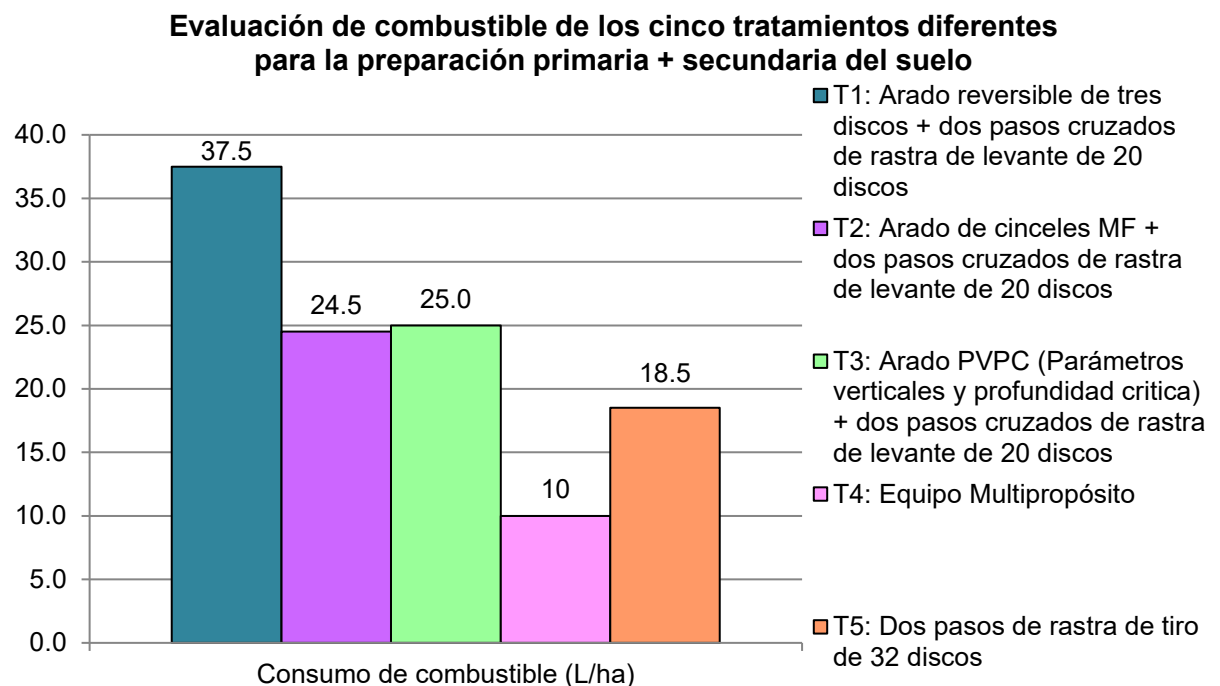


Figura 4. 12 Evaluación de combustible de los cinco tratamientos diferentes para la preparación primaria + secundaria del suelo.

En la Figura 4.13 se muestran los tiempos de los cinco tratamientos en una hectárea. El tiempo de recorrido, tiempo de vueltas en la cabecera, tiempo de vueltas y tiempo total de la prueba es menor en el T5, esto debido a que solo se ocupó un implemento (Rastra de 32 discos), seguido está el T4, T2, T3 Y T1 respectivamente.

Evaluación de tiempos de los cinco tratamientos diferentes para la preparación primaria + secundaria del suelo

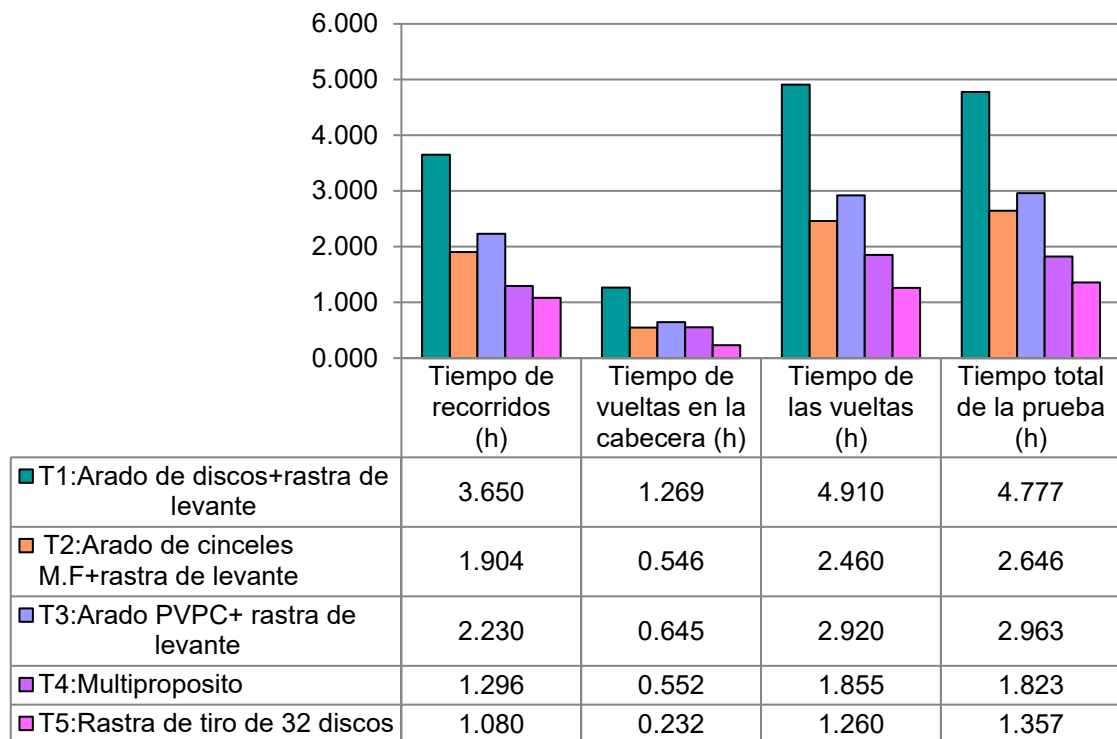


Figura 4. 13 Evaluación de tiempos de los cinco tratamientos diferentes para la preparación primaria + secundaria del suelo.

4.4.4 Análisis estadístico de tratamientos para labranza (no hay relación con variables de planta)

En el cuadro 4.27 se muestra un comparativo sobre tres parámetros (Consumo de combustible, tiempo total y costo de maquila) de los tratamientos ocupados para la labranza, se observa que el T1 es el que mayor consumo tiene de estos tres parámetros, mientras que el T5 está del otro extremo, con un menor consumo en tiempo total y costo de maquila y el T4 tiene el menor consumo de combustible.

Cuadro 4. 27 Cuadro comparativo de costo de combustible, tiempo total y costo de maquila en cada tratamiento de labranza

Consumo de combustible (L/ha)			Tiempo total (h/ha)			Costo de maquila (\$)		
T1	37.5	a	T1	4.777	a	T1	3800	a
T3	25.0	b	T3	2.963	b	T2	3300	b
T2	24.5	c	T2	2.646	c	T3	3300	b
T5	18.5	d	T4	1.823	d	T4	2000	c
T4	10.0	e	T5	1.357	e	T5	1800	d

TUKEY AL 0.05

En el cuadro 4.28 se observa un comparativo de ahorro de los tres parámetros (consumo de combustible, tiempo total y costo de maquila), se observa que el T5 tiene el mejor ahorro en tiempo total y costo de maquila con 71.59% y 52.63% respectivamente, mientras que el T4 tiene el mayor ahorro de combustible con 73.33%.

Cuadro 4. 28 Ahorro comparativo de los tratamientos de labranza

Tratamientos	Consumo de combustible (l/ha)	% de ahorro comparativo	Tiempo total de operación (h/ha)	% de ahorro comparativo	*Costo de maquila (\$/ha)	% de ahorro comparativo
T1	37.5	Consumo testigo	4.777	Tiempo testigo	3800	Costo testigo
T2	24.5	34.67	2.963	37.97	3300	13.15
T3	25	33.34	2.646	44.6	3300	13.15
T4	10	73.33	1.823	61.83	2000	47.36
T5	18.5	50.66	1.357	71.59	1800	52.63

Análisis consumo de combustible

En el cuadro 4.29 y 4.30 se muestran los datos que se obtuvieron de respuesta en el análisis de varianza realizado para el consumo de combustible de los cinco tratamientos de labranza utilizados.

Cuadro 4. 29 Análisis de varianza de consumo de combustible

Respuesta: Variable					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr(>F)
Repetición	2	0.0	0.00	5.0290e-01	0.6227
Tratamientos	4	1217.1	304.27	7.4602e+30	<2e-16 ***
Residuales	8	0.0	0.00		
Códigos de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Cuadro 4. 30 Análisis de varianza de consumo de combustible

Grupos		
Tratamiento	Variable	Grupos
T1	37.5	a
T3	25.0	b
T2	24.5	c
T5	18.5	d
T2	10	e

En la Figura 4.14 se muestra el comparativo de medias sobre consumo de combustible, es evidente que el T1 con 37.5 L/ha tiene un alto consumo comparado con los 4 restantes, mientras que el mejor es el T4 con 10 L/ha, seguido del T5, T2 y T3 respectivamente.

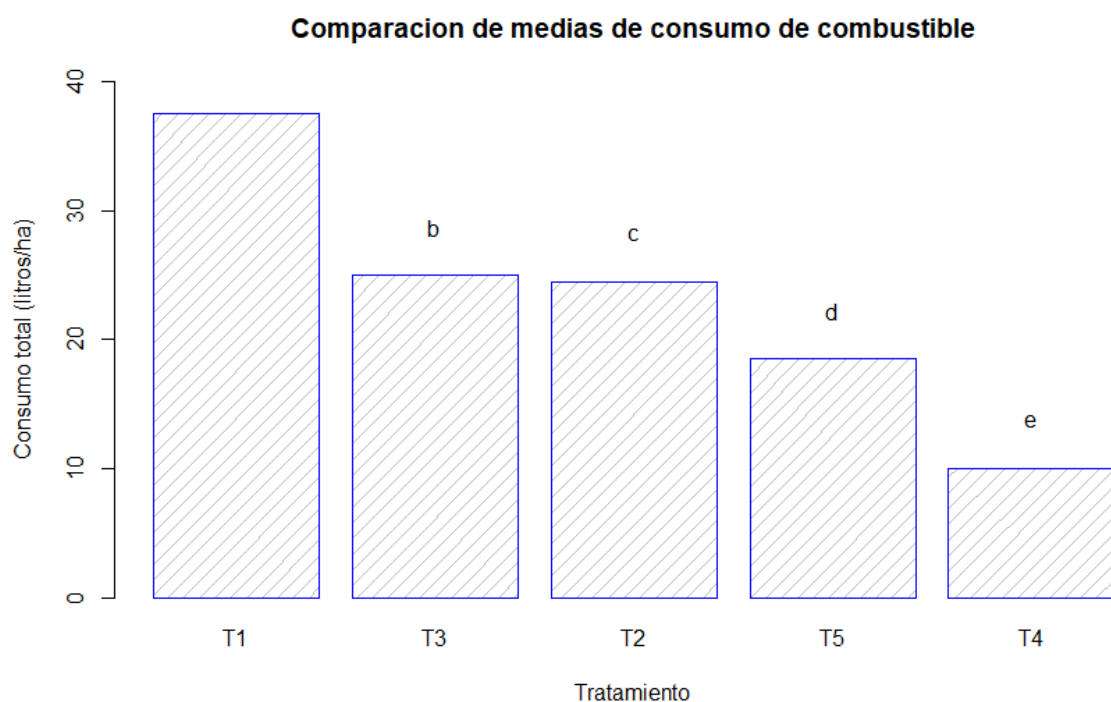


Figura 4. 14 Comparación de medias sobre consumo de combustible.

Análisis de consumo de tiempo total

En los cuadros 4.31 y 4.32 se muestra la respuesta del análisis de varianza realizado para el tiempo total en los cinco tratamientos de labranza utilizados.

Cuadro 4. 31 Análisis de varianza del tiempo total

Respuesta: Variable					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr(>F)
Repetición	2	0.000	0.0000	1.6960e-01	0.847
Tratamientos	4	20.874	5.2184	3.9882e+30	<2e-16 ***
Residuales	8	0.000	0.0000		
Códigos de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Cuadro 4. 32 Análisis de varianza del tiempo total

Grupos		
Tratamiento	Variable	Grupos
T1	4.777	a
T3	2.963	b
T2	2.646	c
T4	1.823	d
T5	1.357	e

En la Figura 4.15 se muestra la comparación de medias sobre tiempo total, de igual manera se observa una gran diferencia del T1 con respecto a los demás tratamientos restantes, mientras que el menor es el T5, esto debido a que solo es labranza secundaria. El mejor para labranza primaria + secundaria es el T4, ya que este prepara 2.62 ha/h mientras que el T1 solo prepara una. Los T2 y T3 preparan 1.80 y 1.61 ha/h en comparación con el T1.

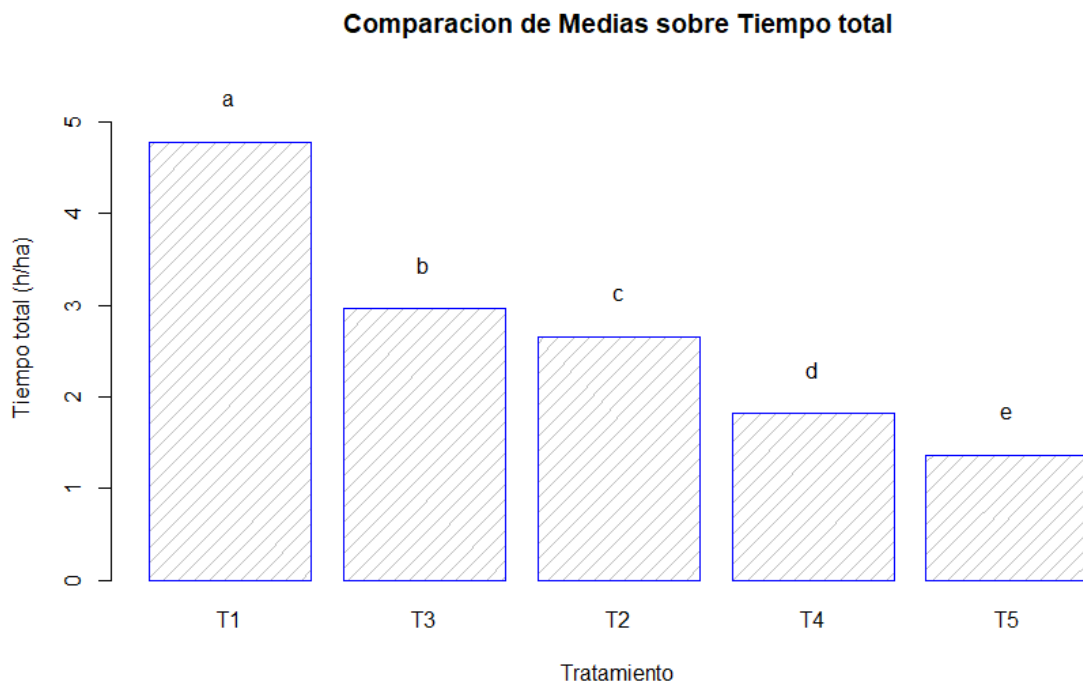


Figura 4. 15 Comparación de medias sobre tiempo total.

Análisis costo maquila

En los cuadros 4.33 y 4.34 se muestra la respuesta del análisis de varianza que se realizó para el costo de maquila en los cinco tratamientos de labranza utilizados.

Cuadro 4. 33 Análisis de varianza del costo de maquila

Respuesta: Variable					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr(>F)
Repetición	2	0	0	8.3820e-01	0.4672
Tratamientos	4	9396000	2349000	9.3745e+29	<2e-16 ***
Residuales	0	0.000	0		
Códigos de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Cuadro 4. 34 Análisis de varianza del costo de maquila

Grupos		
Tratamiento	Variable	Grupos
T1	3800	a
T2	3300	b
T3	3300	b
T4	2000	c
T5	1800	d

En la Figura 4.16 se muestra la comparación de medias del costo de maquila, aquí se observa que el T2 y T3 son iguales en cuanto al costo, y el más alto es el T1, mientras que el mejor es el T5.

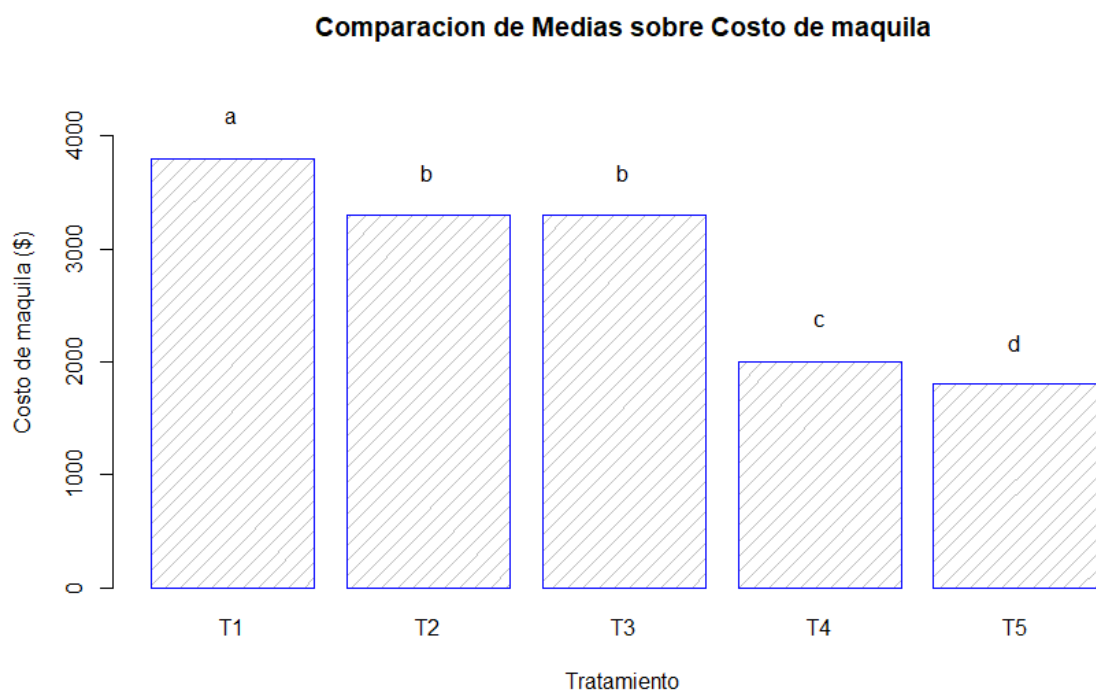


Figura 4. 16 Comparación de medias sobre costo de maquila.

4.5 Siembra y fertilización

La actividad de siembra se realizó el día 07 de noviembre del año 2024. Posterior a esa fecha el día 02 de diciembre se realizó la prueba de emergencia de semilla o nacencia de plantas, para contabilizar el número de plantas emergidas versus sembradas. Los resultados en los cuadros 4.35, 4.36, 4.37, 4.38 y 4.39 muestran los datos de prueba de emergencia que se tomaron en cada uno de los tratamientos de labranza.

Cuadro 4. 35 Datos de emergencia de planta en 20 m en parcela 1

Tratamiento 1				
No. de Surco	No. de Plantas	Plantas/metro	Promedio (plantas)	Promedio de plantas por hectárea
5	27	1.35	30.33	18,956.25
12	34	1.7		
19	30	1.5		

Cuadro 4. 36 Datos de emergencia de planta en 20 m en parcela 2

Tratamiento 2				
No. De surco	No. de Plantas	Plantas/ metro	Promedio (plantas)	Promedio de plantas por hectárea
3	36	1.8	37	23,125
9	41	2.05		
21	34	1.7		

Cuadro 4. 37 Datos de emergencia de planta en 20 m en parcela 3

Tratamiento 3				
No. De surco	No. de Plantas	Plantas/ metro	Promedio (plantas)	Promedio de plantas por hectárea
1	33	1.65	30.67	19,168.75
11	31	1.55		
20	28	1.4		

Cuadro 4. 38 Datos de emergencia de planta en 20 m en parcela 4

Tratamiento 4				
No. De surco	No. de Plantas	Plantas/ metro	Promedio (plantas)	Promedio de plantas por hectárea
7	46	2.3	40.67	25,418.75
13	39	1.95		
19	37	1.85		

Cuadro 4. 39 Datos de emergencia de planta en 20 m en parcela 5

Tratamiento 5				
No. De surco	No. de Plantas	Plantas/ metro	Promedio (plantas)	Promedio de plantas por hectárea
6	32	1.6	26.67	16,668.75
11	22	1.1		
18	26	1.3		

Como se observa la selección de semilla es importante porque de una buena siembra depende el rendimiento del cultivo, de no hacer una buena selección puede afectar la germinación desde un 70.95-80.95% como fue nuestro caso.

En el cuadro 4.40 se puede observar que hubo una deficiente emergencia de la semilla con los datos a continuación: T1 con un porcentaje de emergencia a los 25 Dds de 21.66%, T2 de 26.43%, T3 de 21.91%, T4 de 29.05% y T5 de 19.05%, respectivamente. Es importante señalar que después de este muestreo se realizó una prueba de germinación para la semilla utilizada y el resultado fue de una semilla de mala calidad no apta para siembra con un porcentaje de germinación de solo el 20 %.

Cuadro 4. 40 Prueba de emergencia

No. de parcela	Semillas sembradas por ha	Promedio de plantas emergidas por hectárea	% de germinación	% de pérdida de emergencia
1	87500	18,956.25	21.66	78.34
2	87500	23,125	26.43	73.57
3	87500	19,168.75	21.91	78.09
4	87500	25,418.75	29.05	70.95
5	87500	16,668.75	19.05	80.95

Para la actividad de fertilización, los resultados fueron monitoreados en los parámetros de planta y la variable rendimiento en su etapa de maíz para forraje, como a continuación se muestran:

4.5.1 FERTILIZACIÓN (EXPERIMENTO 1)

En el cuadro 4.41 se muestran los resultados de los parámetros determinados en la parcela uno, con el T1CE de fertilización recomendada por el laboratorio Con Enmienda (CE).

Cuadro 4. 41 Evaluación de parámetros promedio de planta con la recomendación del laboratorio (CE)

T1CE	Longitud de planta (m)	Diámetro de planta (mm)	Peso de planta (g)	Peso de mazorca (g)	Peso de planta + peso de mazorca (g)	No. plantas /metro	Rendimiento en fresco t/ha
M1	2.04	20.56	673.88	419.00	1092.88	1.6	21.84
M2	2.26	19.82	621.37	384.68	1006.05	1.9	
M3	1.91	18.53	498.65	355.18	853.83	1.7	
M4	1.99	16.65	631.5	405.55	1037.05	2.0	
M5	2.09	15.91	565.35	352.18	917.53	1.7	
Promedio	2.06	18.29	598.15	383.32	981.47	1.78	

En el cuadro 4.42 se muestran los resultados de los parámetros determinados en la parcela uno, con el T1SE de fertilización del paquete tecnológico del INIFAP Sin Enmienda (SE).

Cuadro 4. 42 Evaluación de parámetros promedio de planta del paquete tecnológico INIFAP (SE)

T1SE	Longitud de planta (m)	Diámetro de planta (mm)	Peso de planta (g)	Peso de mazorca (g)	Peso de planta + peso de mazorca (g)	No. plantas /metro	Rendimiento en fresco t/ha
M1	1.94	18.13	552.13	276.23	828.36	.8	14.01
M2	1.99	19.83	643.42	420.33	1063.8	1.2	
M3	1.96	19.07	556.73	383.27	940	1.5	
M4	2.06	16	557.86	389.79	947.65	1.4	
M5	2.08	15.32	531.91	358.09	890	1.1	
Promedio	2.01	17.67	568.41	365.54	933.95	1.2	

En el cuadro 4.43 se muestran los resultados de los parámetros determinados en la parcela dos, con el T2CE de fertilización recomendada por el laboratorio Con Enmienda (CE).

Cuadro 4. 43 Evaluación de parámetros promedio de planta con la recomendación del laboratorio (CE)

T2CE	Longitud de planta (m)	Diámetro de planta (mm)	Peso de planta (g)	Peso de mazorca (g)	Peso de planta + peso de mazorca (g)	No. plantas /metro	Rendimiento en fresco t/ha
M1	2.03	20.42	633.17	425	1058.17	1.2	18.85
M2	1.85	20.36	583.43	448.14	1031.57	1.4	
M3	2.07	20.5	631.8	395.53	1027.33	1.5	
M4	2.08	16.34	589.79	429.79	1019.58	1.9	
M5	2.05	16.88	602.17	495.92	1098.09	1.2	
Promedio	2.02	18.90	608.07	438.88	1046.95	1.44	

En el cuadro 4.44 se muestran los resultados de los parámetros determinados en la parcela dos, con el T2SE de fertilización del paquete tecnológico del INIFAP Sin Enmienda (SE).

Cuadro 4. 44 Evaluación de parámetros promedio de planta del paquete tecnológico INIFAP (SE)

T2SE	Longitud de planta (m)	Diámetro de planta (mm)	Peso de planta (g)	Peso de mazorca (g)	Peso de planta + peso de mazorca (g)	No. plantas /metro	Rendimiento en fresco t/ha
M1	1.97	16.43	541.14	379.57	920.71	1.4	17.28
M2	2.05	19.08	673.85	452.31	1126.2	1.3	
M3	2.05	18.41	627.82	451.64	1079.5	1.1	
M4	2.16	16.54	665.69	472.23	1137.9	1.3	
M5	2.04	15.44	509.75	383.13	892.88	1.6	
Promedio	2.05	17.18	603.65	427.78	1031.4	1.34	

En el cuadro 4.45 se muestran los resultados de los parámetros determinados en la parcela tres, con el T3CE de fertilización recomendada por el laboratorio Con Enmienda (CE).

Cuadro 4. 45 Evaluación de parámetros promedio de planta con la recomendación del laboratorio (CE)

T3CE	Longitud de planta (m)	Diámetro de planta (mm)	Peso de planta (g)	Peso de mazorca (g)	Peso de planta + peso de mazorca (g)	No. plantas /metro	Rendimiento en fresco t/ha
M1	2	16.17	520.05	375.67	895.72	2.1	20.44
M2	1.97	15.75	470.2	352.1	822.3	2.0	
M3	2.04	18.11	621.14	504.43	1125.57	1.4	
M4	2.11	17	604.27	453.73	1058	1.5	
M5	2.01	15.09	481.94	370.13	852.07	1.6	
Promedio	2.03	16.42	539.52	411.21	950.73	1.72	

En el cuadro 4.46 se muestran los resultados de los parámetros determinados en la parcela tres, con el T3SE de la fertilización del paquete tecnológico del INIFAP (SE).

Cuadro 4. 46 Evaluación de parámetros promedio de planta del paquete tecnológico INIFAP (SE)

T3SE	Longitud de planta (m)	Diámetro de planta (mm)	Peso de planta (g)	Peso de mazorca (g)	Peso de planta + peso de mazorca (g)	No. plantas /metro	Rendimiento en fresco t/ha
M1	2.07	19.76	637.68	421.89	1059.6	1.9	21.30
M2	2.07	19.56	635.56	471.25	1106.8	1.6	
M3	2.06	20.53	597.11	409.61	1006.7	1.8	
M4	2.26	17.87	674	443.67	1117.7	1.5	
M5	2.17	17.91	651.27	451.27	1102.5	1.1	
Promedio	2.13	19.13	639.12	439.54	1078.7	1.58	

En el cuadro 4.47 se muestran los resultados de los parámetros determinados en la parcela cuatro, con el T4CE de fertilización recomendada por el laboratorio Con Enmienda (CE).

Cuadro 4. 47 Evaluación de parámetros promedio de planta con la recomendación del laboratorio (CE)

T4CE	Longitud de planta (m)	Diámetro de planta (mm)	Peso de planta (g)	Peso de mazorca (g)	Peso de planta + peso de mazorca (g)	No. plantas /metro	Rendimiento en fresco t/ha
M1	1.96	15.95	500.64	394.68	895.32	2.2	20.35
M2	1.88	16.31	520.92	417.46	938.38	1.3	
M3	1.95	15.73	489.55	413	902.55	1.1	
M4	2.17	18.08	649.95	421.8	1071.75	2.0	
M5	2.13	17.06	641.65	453	1094.65	1.7	
Promedio	2.02	16.63	560.54	419.99	980.53	1.66	

En el cuadro 4.48 se muestran los resultados de los parámetros determinados en la parcela cuatro, con T4SE de fertilización del paquete tecnológico del INIFAP Sin enmienda (SE).

Cuadro 4. 48 Evaluación de parámetros promedio de planta del paquete tecnológico INIFAP (SE)

T4SE	Longitud de planta (m)	Diámetro de planta (mm)	Peso de planta (g)	Peso de mazorca (g)	Peso de planta + peso de mazorca (g)	No. plantas /metro	Rendimiento en fresco t/ha
M1	2.15	21.44	679.39	449.67	1129.06	1.8	21.01
M2	2.11	20.95	610.82	489.18	1100.00	1.1	
M3	2.11	19.84	579.50	422.31	1001.81	1.6	
M4	2.16	17.61	594.93	485.64	1080.57	1.4	
M5	2.05	16.21	538.62	402.19	940.81	2.1	
Promedio	2.12	19.21	600.65	449.80	1050.45	1.6	

En el cuadro 4.49 se muestran los resultados de los parámetros determinados en la parcela cinco, con T5CE de fertilización recomendada por el laboratorio Con Enmienda (CE).

Cuadro 4. 49 Evaluación de parámetros promedio de planta con la recomendación del laboratorio (CE)

T5CE	Longitud de planta (m)	Diámetro de planta (mm)	Peso de planta (g)	Peso de mazorca (g)	Peso de planta + peso de mazorca (g)	No. plantas /metro	Rendimiento en fresco t/ha
M1	1.95	16.05	489.58	355.42	845	1.9	19.80
M2	2.13	17.63	627.78	466.04	1093.82	2.3	
M3	2.05	16.92	555.92	397.85	953.77	1.3	
M4	2.16	17.62	619.15	545.92	1165.07	1.3	
M5	2.05	15.63	477.67	414.92	892.59	1.2	
Promedio	2.07	16.77	554.02	436.03	990.05	1.60	

En el cuadro 4.50 se muestran los resultados de los parámetros determinados en la parcela cinco, con T5SE de fertilización del paquete tecnológico del INIFAP Sin Enmienda (SE)

Cuadro 4. 50 Evaluación de parámetros promedio de planta del paquete tecnológico INIFAP (SE)

T5SE	Longitud de planta (m)	Diámetro de planta (mm)	Peso de planta (g)	Peso de mazorca (g)	Peso de planta + peso de mazorca (g)	No. plantas /metro	Rendimiento en fresco t/ha
M1	2.12	17.56	620.59	436.82	1057.41	1.7	23.32
M2	2.27	18.84	710.38	461.94	1172.31	1.6	
M3	2.17	18.58	683.40	480.05	1163.45	2.0	
M4	2.36	18.78	741.00	581.00	1322.00	1.6	
M5	2.20	17.35	637.70	550.30	1188.00	1.0	
Promedio	2.22	18.22	678.61	502.02	1180.63	1.58	

En el cuadro 4.51 se muestran los promedios de los parámetros de planta medidos en los cinco tratamientos de labranza. Se observa que el T1 obtuvo el mayor rendimiento con 21.84 t/ha, seguido de T3 con 20.44 t/ha, T4 con 20.35 t/ha, T5 con 19.80 t/ha y T2 con 18.85 t/ha, respectivamente.

Cuadro 4. 51 Promedios de los parámetros de planta con la recomendación del laboratorio (CE) en los cinco tratamientos de labranza

Recomendación del laboratorio (CE)							
Tratamiento de labranza	Longitud de planta (m)	Diámetro de planta (cm)	Peso de planta (kg)	Peso de mazorca (kg)	Peso de planta+ peso de mazorca (kg)	No. Plantas/ metro	Rendimiento en fresco t/ha
T1	2.06	1.83	0.6	0.38	0.98	1.78	21.84
T2	2.02	1.89	0.61	0.44	1.05	1.44	18.85
T3	2.03	1.64	0.54	0.41	0.95	1.72	20.44
T4	2.02	1.66	0.56	0.42	0.98	1.66	20.35
T5	2.07	1.68	0.55	0.44	0.99	1.60	19.80

En la Figura 4.17 se muestra la longitud de planta en la recomendación hecha por el laboratorio, se observa que la mayor longitud estuvo en el T5L con 2.07 m, el T1L tiene una diferencia del 0.48%, el T3L del 1.93% y el T2L y T4L del 2.41% comparado con el T1L.

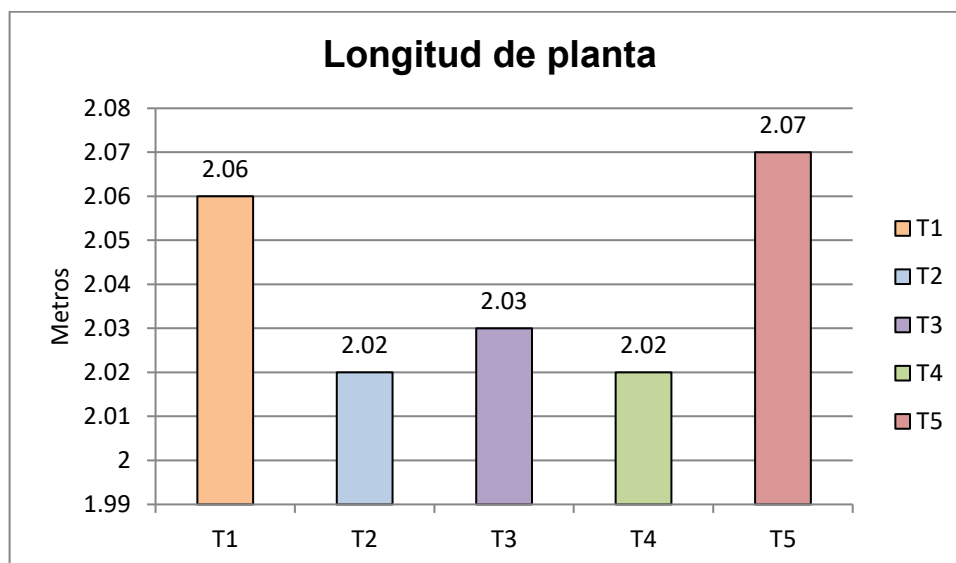


Figura 4. 17 Longitud de planta en la recomendación del laboratorio (m).

En la Figura 4.18 se muestra el diámetro de planta en la recomendación del laboratorio, se observa que el mayor fue el T2L con 1.89 centímetros, el T1L tiene una diferencia del 3.17%, el T5L del 11.11%, el T4L de 1217% y el T3L de 13.23% comparados con el T2L.

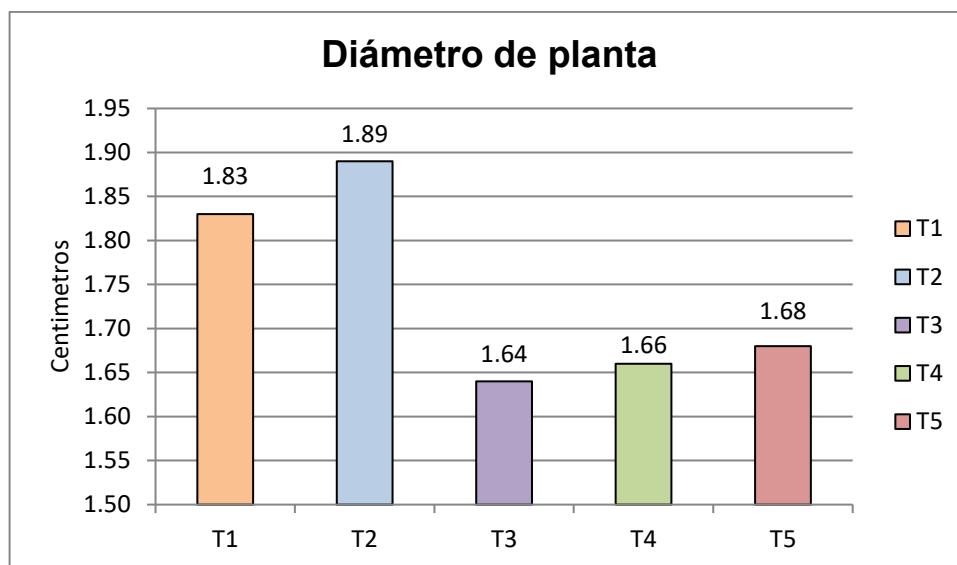


Figura 4. 18 Diámetro de planta en la recomendación del laboratorio (cm).

En la Figura 4.19 se muestra el peso de planta con la recomendación del laboratorio, se observa que el mayor fue el T2L con 0.61 kilogramos, el T1L tiene una diferencia del 1.64%, el T4L de 8.20%, el T5L de 9.84% y el T3L del 11.47% comparados con el T2L.

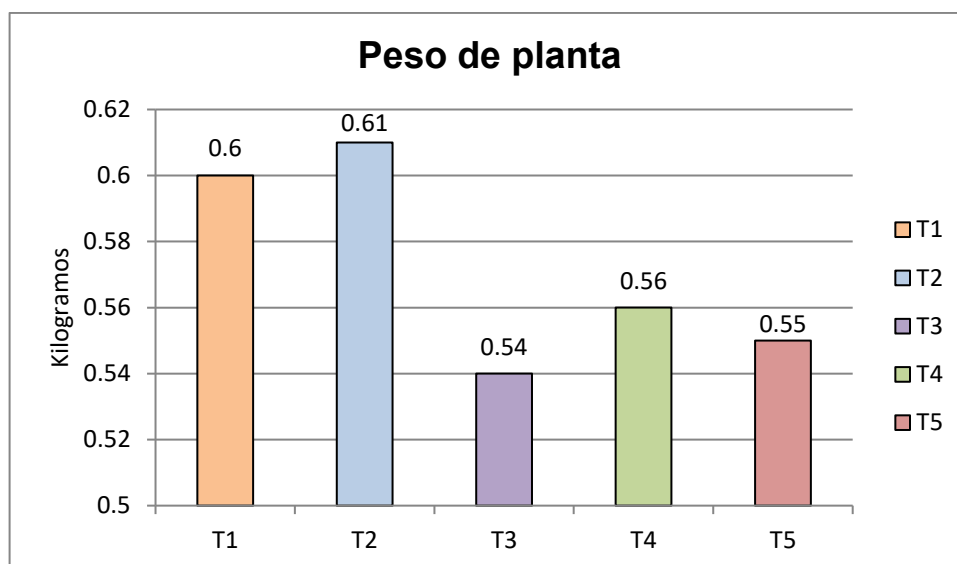


Figura 4. 19 Peso de planta en la recomendación del laboratorio (kg).

En la Figura 4.20 se muestra el peso de mazorca promedio en la recomendación del laboratorio, se observa que el T2L y T5L tienen el mayor con 0.44 kilogramos, el T4L tiene una diferencia del 4.54%, el T3L de 6.82% y el T1L de 13.64% comparados con el T5L y el T2L.

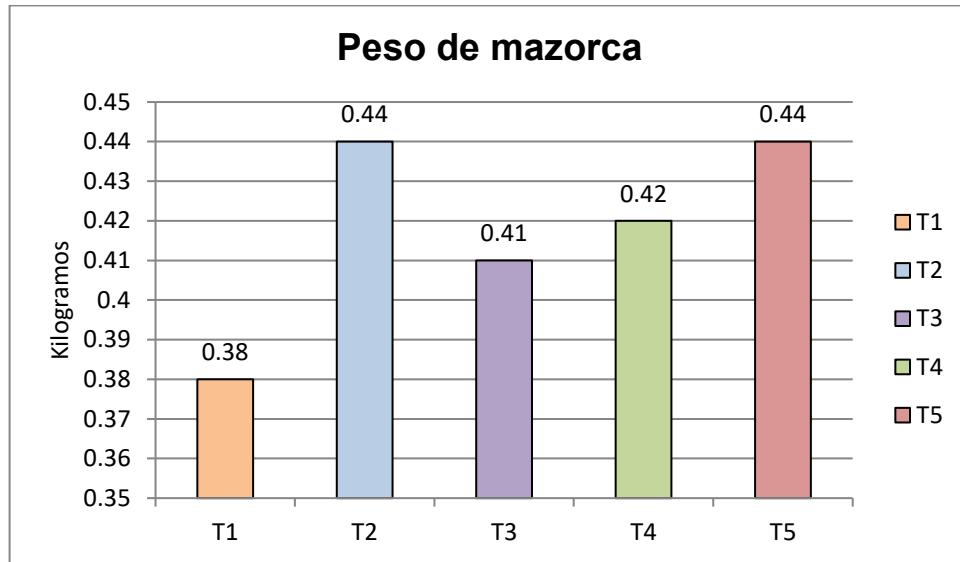


Figura 4. 20 Peso de mazorca en la recomendación del laboratorio (kg).

En la Figura 4.21 se muestran los valores de peso de planta + peso de mazorca, se observa que el mayor es el T2L con 1.05 kilogramos, el T5L tiene una diferencia del 5.71%, el T4L y T1L del 6.66% y el T3L de 9.52 % comparados con el T2L.

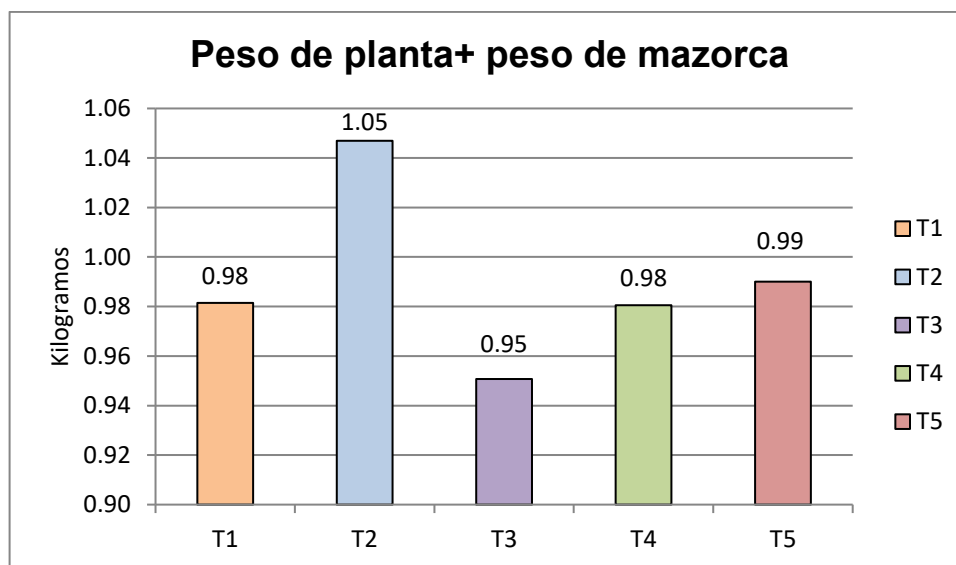


Figura 4. 21 Peso de planta + peso de mazorca en la recomendación del laboratorio (kg).

En la Figura 4.22 se muestra el número de plantas / metro en cada uno de los tratamientos, se muestra que el mayor fue el T1L con 1.8, seguido del T3L y T4L, después el T5L y el T2L respectivamente.

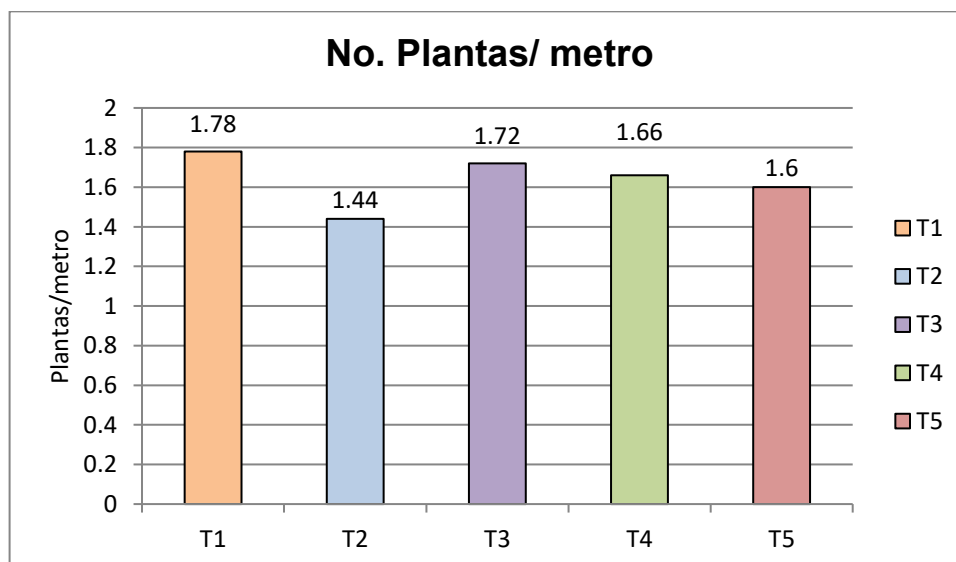


Figura 4. 22 No. plantas / metro en la recomendación del laboratorio.

En la Figura 4.23 se muestra el rendimiento en fresco que se tuvo en los cinco tratamientos con la recomendación del laboratorio, se observa que el mayor fue el T1L con 21.8 t/ha, el T3L tuvo una diferencia del 6.42%, el T4L de 6.88%, el T5L de 9.17 % y el T2L del 13.76% comparados con el T1L.

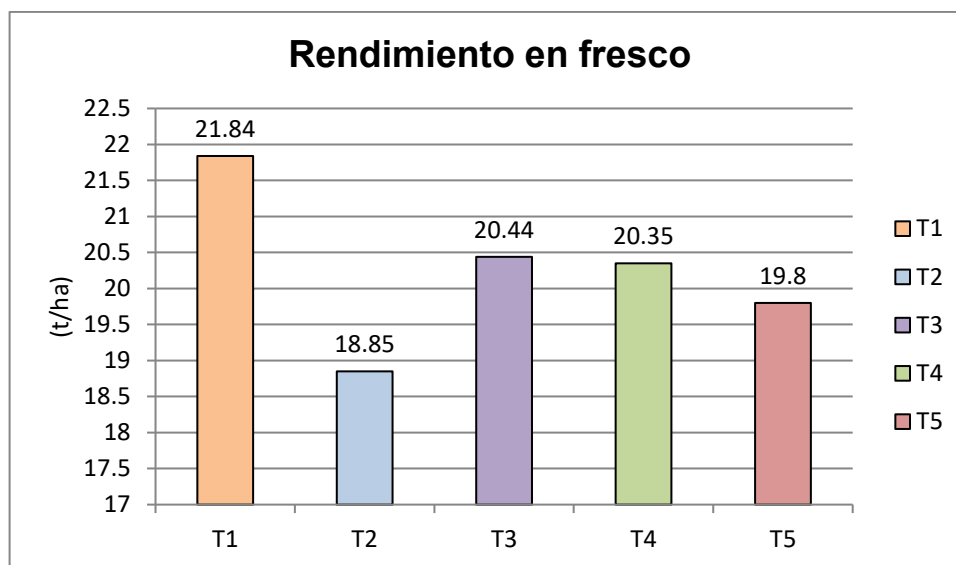


Figura 4. 23 Rendimiento en fresco con la recomendación del laboratorio (t/ha).

En el cuadro 4.52 se muestran los parámetros promedio de la fertilización con paquete tecnológico INIFAP, se observa que el T5L (Rastra de tiro de 32 discos) tiene los mayores valores en seis de siete parámetros.

Cuadro 4. 52 Parámetros de planta promedios con el paquete tecnológico INIFAP (SE) en los cinco tratamientos de labranza

Paquete Tecnológico INIFAP (SE)							
Tratamiento de labranza	Longitud de planta (m)	Diámetro de planta (cm)	Peso de planta (kg)	Peso de mazorca (kg)	Peso de planta+ peso de mazorca (kg)	No. Plantas /metro	Rendimiento en fresco t/ha
T1	2.01	1.77	0.57	0.37	0.93	1.20	14.01
T2	2.05	1.72	0.6	0.43	1.03	1.34	17.28
T3	2.13	1.91	0.64	0.44	1.08	1.58	21.30
T4	2.12	1.92	0.6	0.45	1.05	1.60	21.01
T5	2.22	1.82	0.68	0.5	1.18	1.58	23.32

En la Figura 4.24 se muestra la longitud de planta con el paquete tecnológico INIFAP, se observa que el T5L con 2.22 metros, el T3L tiene una diferencia del 4.05%, el T4L 4.50%, el T2L con 7.66%, el T1L con 9.46% comparado con el T5L.

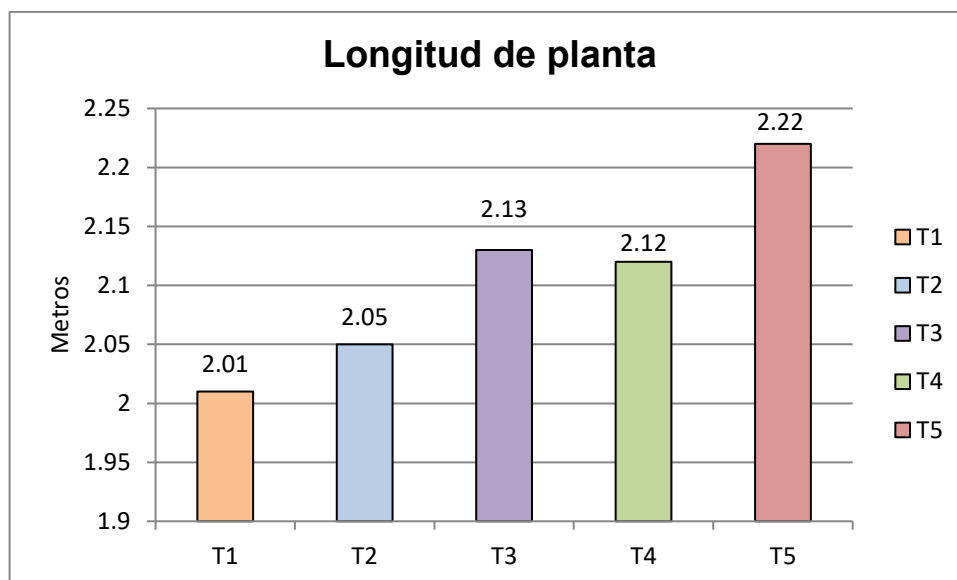


Figura 4. 24 Longitud de planta con el paquete tecnológico INIFAP (m).

En la Figura 4.25 se muestra el diámetro de planta con el paquete tecnológico INIFAP, se observa que el mayor es 1.92 en el T4L, el T3L con 0.52%, el T5L con 5.21%, el T1L con 7.81% y el T2L con 10.42% comparado con el T4L.

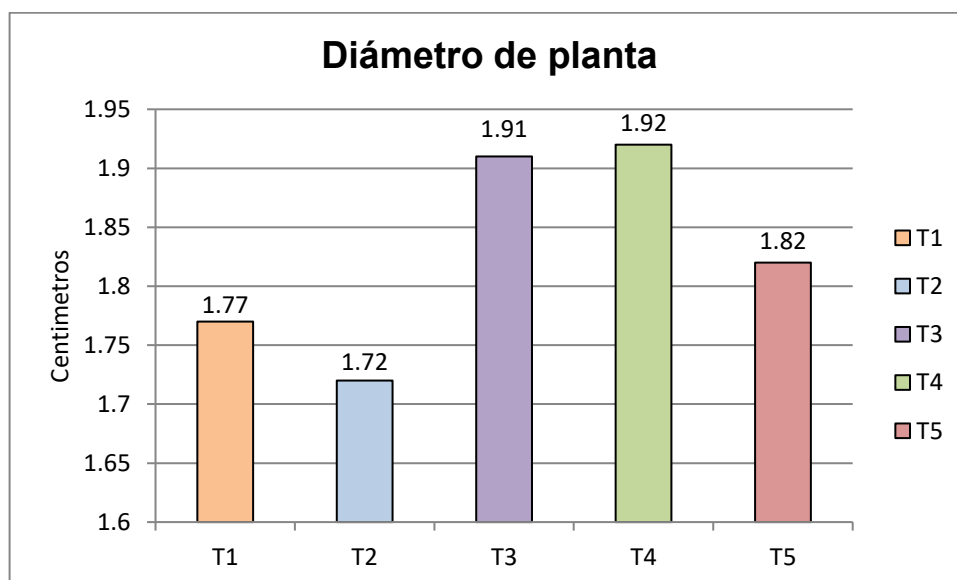


Figura 4. 25 Diámetro de planta con el paquete tecnológico INIFAP (cm).

En la figura 4.26 se muestra el peso de planta con el paquete tecnológico INIFAP, se observa que el T5L tiene un mayor peso con 0.68 kilogramos, el T3L con 5.88%, el T2L y T4L con 11.76% y el T1L con 20.59% comparado con el T5L.

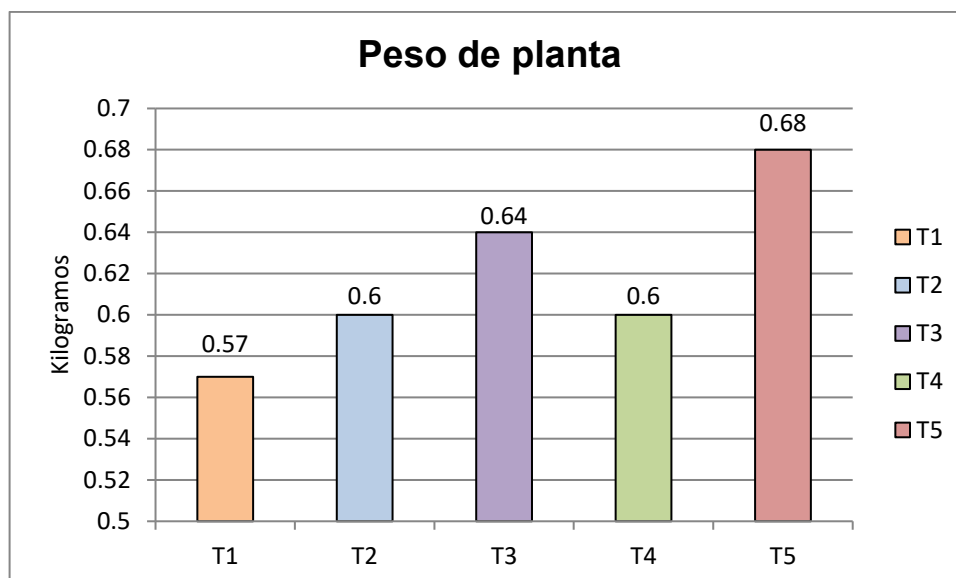


Figura 4. 26 Peso de planta con el paquete tecnológico INIFAP (kg).

En la Figura 4.27 se muestra el peso de mazorca con paquete tecnológico INIFAP, se observa que el T5L tiene el mayor peso con 0.5 kilogramos, el T4L tiene una diferencia del 10%, en el T3L del 12%, en el T2L del 14%, en el T1L del 26%, comparados con el T5L.

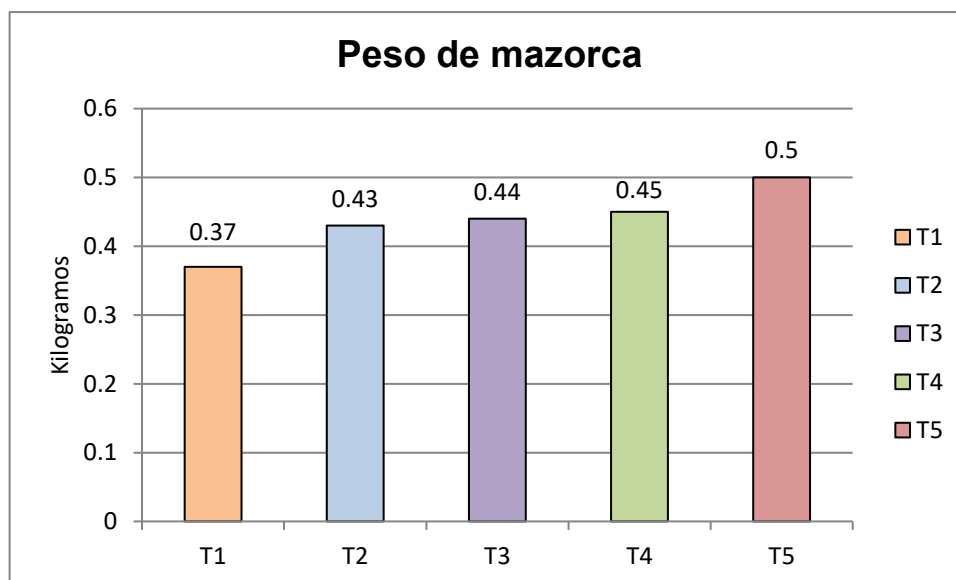


Figura 4. 27 Peso de mazorca con el paquete tecnológico INIFAP (kg).

En la Figura 4.28 se muestra el peso de planta + peso de mazorca, se observa que el mayor fue el T5L con 1.18 kilogramos, el T2L tiene una diferencia del 8.47%, el T4L con 11.02%, el T2L con 12.71%, y el T1L con 21.19% comparados con el T5L.

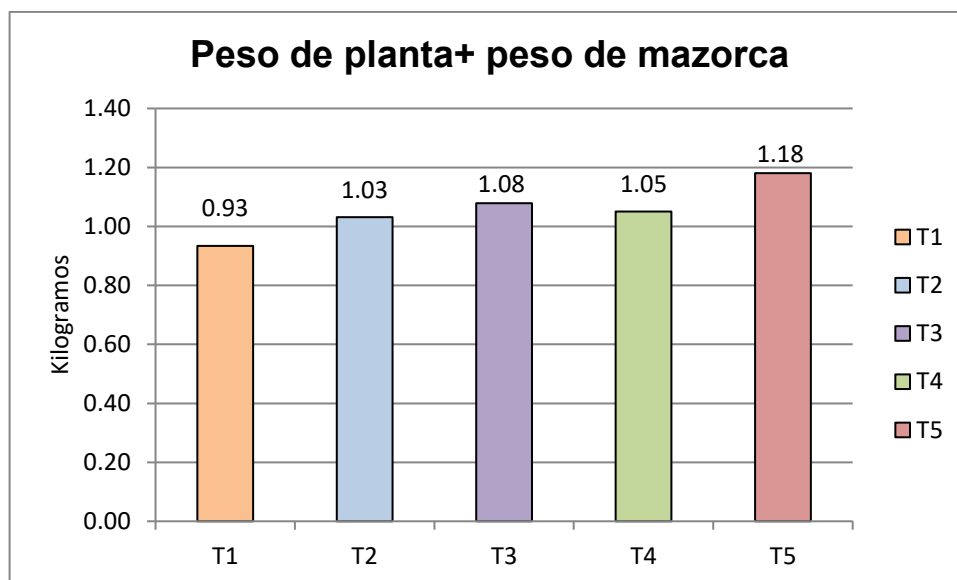


Figura 4. 28 Peso de planta+ peso de mazorca con el paquete tecnológico INIFAP (kg).

En la Figura 4.29 se muestran el No. de plantas/ metro en cada uno de los tratamientos, se observa una diferencia del 18.75% del T2L y del 25% del T1L con respecto a los tratamientos restantes.

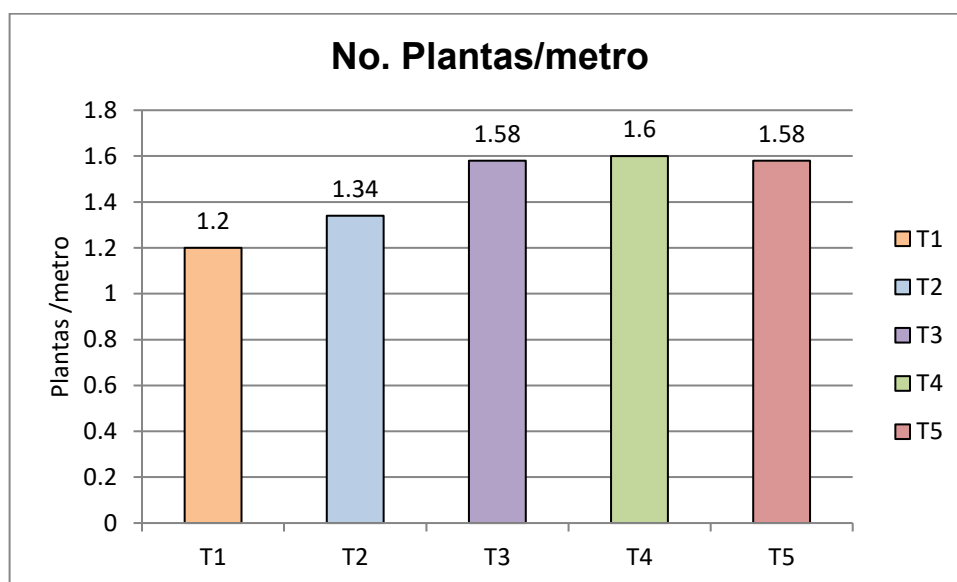


Figura 4. 29 No. Plantas/ metro con el paquete tecnológico INIFAP.

En la Figura 4.30 se muestran los resultados de rendimiento en fresco, se observa que el mayor fue el T5L con 23 t/ha, el T3L tiene una diferencia del 7.39%, el T4L de 8.69%, el T2L de 26.08% y el T1L del 39.13% con respecto al T5L.

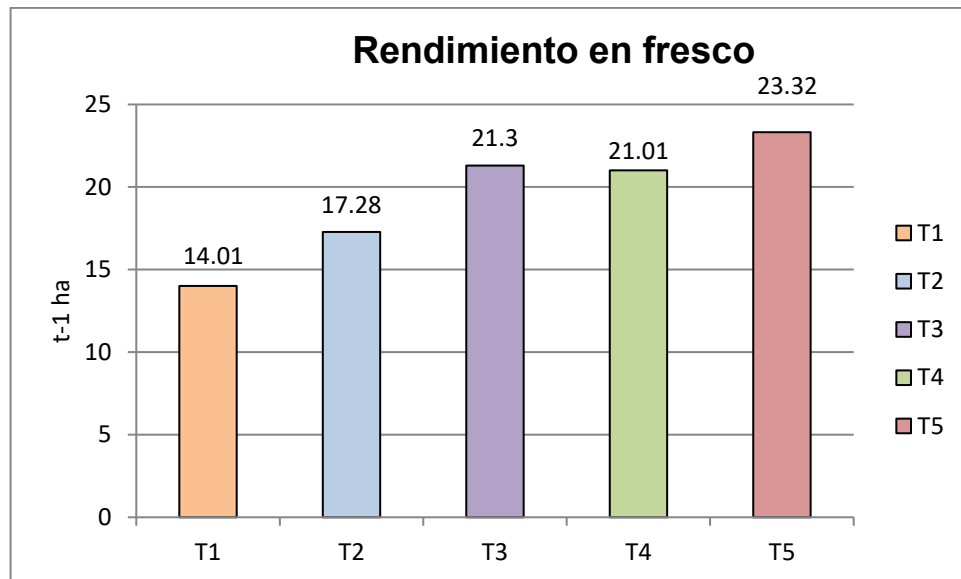


Figura 4. 30 Rendimiento en fresco con el paquete tecnológico INIFAP (t/ha).

En el cuadro 4.53 se pueden observar los resultados del muestreo de parámetros de plantas con el primer tratamiento de fertilización , donde el mejor en cuanto a la variable rendimiento en fresco fue el T5 con 23 toneladas por hectárea de peso en fresco utilizado para forraje en maíz y utilizando “Preparación del suelo con paso cruzado de rastra de tiro + paquete tecnológico INIFAP.”, seguido de T3 con 21.3, T4 con 21, T2 con 17 y el menor fue el T1 con 14 toneladas por hectárea, respectivamente. Podemos suponer hipotéticamente que el T5 tuvo mayor rendimiento en fresco porque estuvo pegado al canal de riego, y por consecuencia tuvo mayor infiltración de agua, ya que de acuerdo con Reynolds (2024) en evaluaciones de producción de maíz, la rastra de tiro debido a su profundidad la cual no supera los 20 cm ocupó el penúltimo lugar en rendimiento al realizar una evaluación similar.

Cuadro 4. 53 Evaluación de parámetros de planta con las dos dosis de fertilización

Tratamiento de labranza	Longitud de planta (m)		Diámetro de planta (cm)		Peso de planta (kg)		Peso de mazorca (kg)		Peso de planta+ peso de mazorca (kg)		No. Plantas/ metro		Rendimiento en fresco t/ha	
	CE	SE	CE	SE	CE	SE	CE	SE	CE	SE	CE	SE	CE	SE
T1L	2.06	2.01	1.83	1.77	0.60	0.57	0.38	0.37	0.98	0.93	1.78	1.2	21.84	14.01
T2L	2.02	2.05	1.89	1.72	0.61	0.60	0.44	0.43	1.05	1.03	1.44	1.34	18.85	17.28
T3L	2.03	2.13	1.64	1.91	0.54	0.64	0.41	0.44	0.95	1.08	1.72	1.58	20.44	21.3
T4L	2.02	2.12	1.66	1.92	0.56	0.60	0.42	0.45	0.98	1.05	1.66	1.6	20.35	21.01
T5L	2.07	2.22	1.68	1.82	0.55	0.68	0.44	0.50	0.99	1.18	1.60	1.58	19.8	23.32

En la Figura 4.31 se muestra la evaluación de longitud de planta, donde la mayor respuesta fue en cuatro de los cinco tratamientos utilizados con paquete tecnológico INIFAP. La diferencia entre tratamientos de nutrición es del 2.43%, en el T2 es del 1.46%, en el T3 del 4.69%, en el T4 del 4.72 y el T5 con 6.76 %

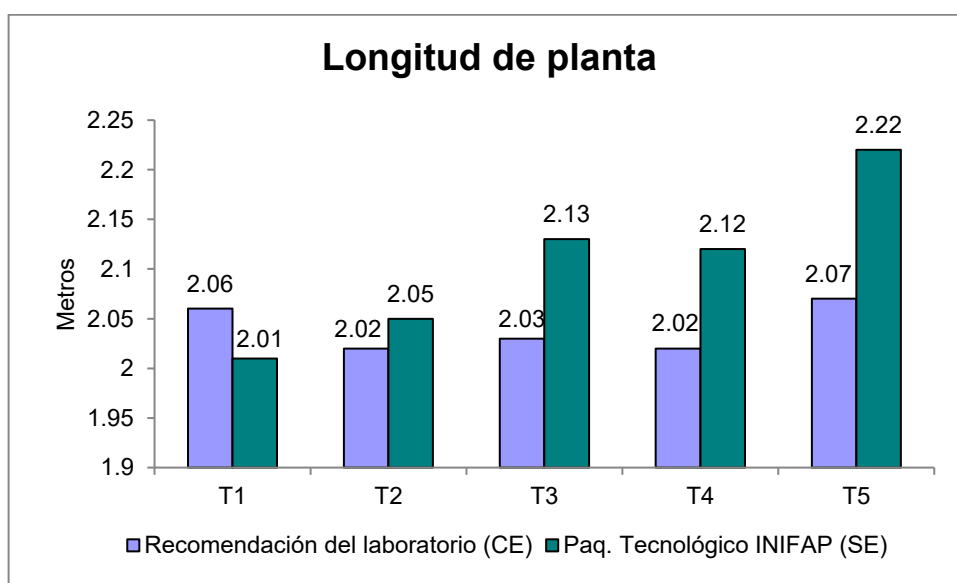


Figura 4. 31 Evaluación de longitud de planta con las dos dosis de fertilización.

En la Figura 4.32 se muestra el diámetro de planta en los cinco tratamientos diferentes, en el T1 hay un 3.28 % de diferencia, en el T2 un 9%, en el T3 un 14.14 %, en el T4 un 13.54% y en el T5 un 7.70%

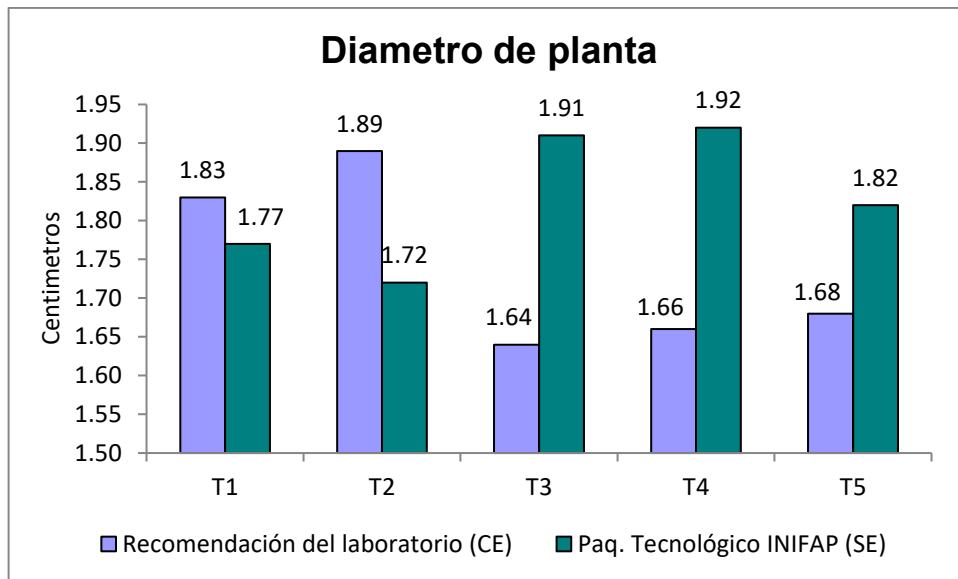


Figura 4. 32 Evaluación de diámetro de planta con las dos dosis de fertilización.

En la figura 4.33 se muestra un promedio del peso por mazorca por tratamientos, en el T1 hay un 2.63%, en el T2 un 2.27%, en el T3 un 6.81%, en el T4 un 6.66% y en el T5 un 12%.

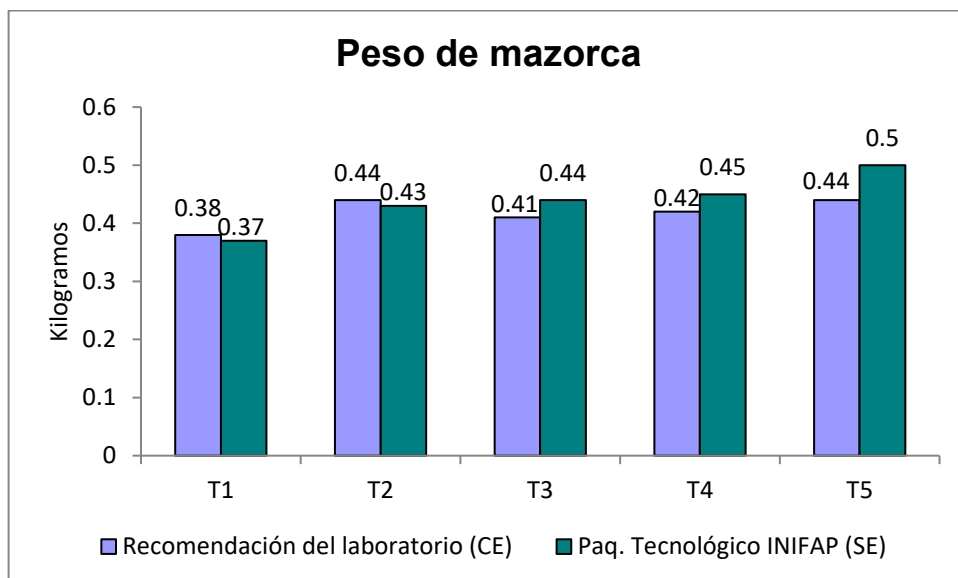


Figura 4. 33 Evaluación de peso de mazorca con las dos dosis de fertilización.

En la Figura 4.34 se muestra el promedio del peso por planta en cada una de las parcelas, se observa que el mayor fue el T5 con paquete tecnológico INIFAP con 0.68 kilogramos y el menor es el T3 con 0.54 con la recomendación del laboratorio, en el T1 hay 5% de diferencia, en el T2 hay 1.64%, en el T3 hay 15.62 %, en el T4 hay 6.66%, y en el T5 un 19.12%.

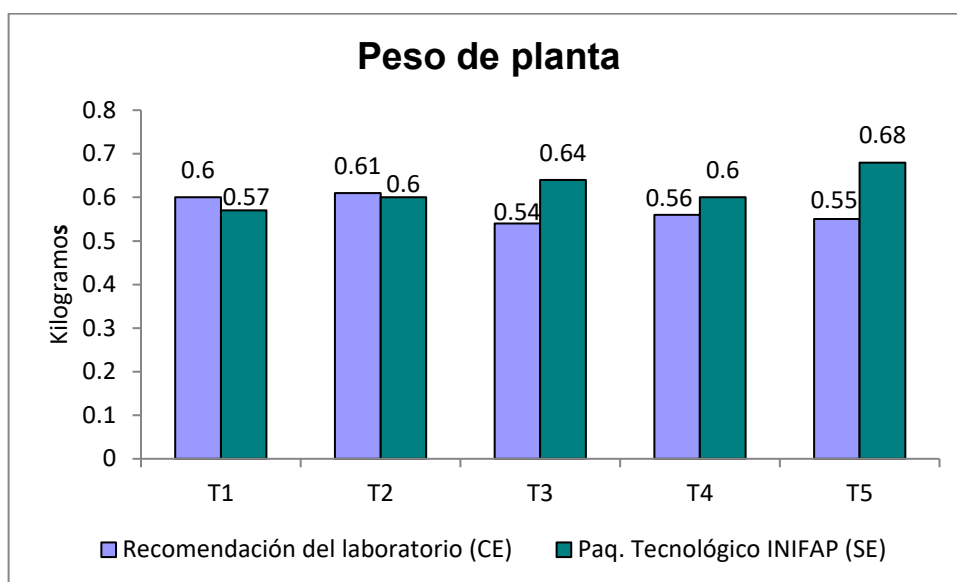


Figura 4. 34 Evaluación de peso de planta con las dos dosis de fertilización.

En la Figura 4.35 se muestran los resultados promedio del peso de planta + peso de mazorca, se observa que el mayor fue el del T1 con 1.181 kg con paquete tecnológico INIFAP, y el menor el T1 con el paquete tecnológico del INIFAP, en el T1 hay un 4.79 % de diferencia, en el T2 hay 1.53%, en el T3 hay 11.86%, en el T4 hay 6.57% y en el T5 hay 16.17%

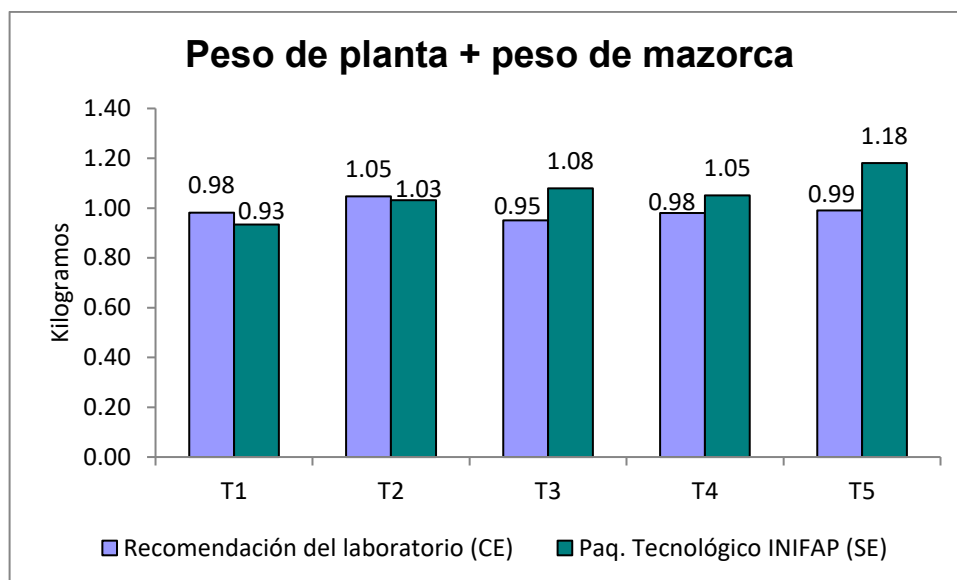


Figura 4. 35 Evaluación de peso de planta+ peso de mazorca con las dos dosis de fertilización.

En la figura 4.36 se muestra el promedio del No. de plantas /metro en cada una de las parcelas, se observa que el mayor y menor fueron en el T1 con 1.8 y 1.2 plantas/ metro, la diferencia no fue tan significativa en las otras parcelas.

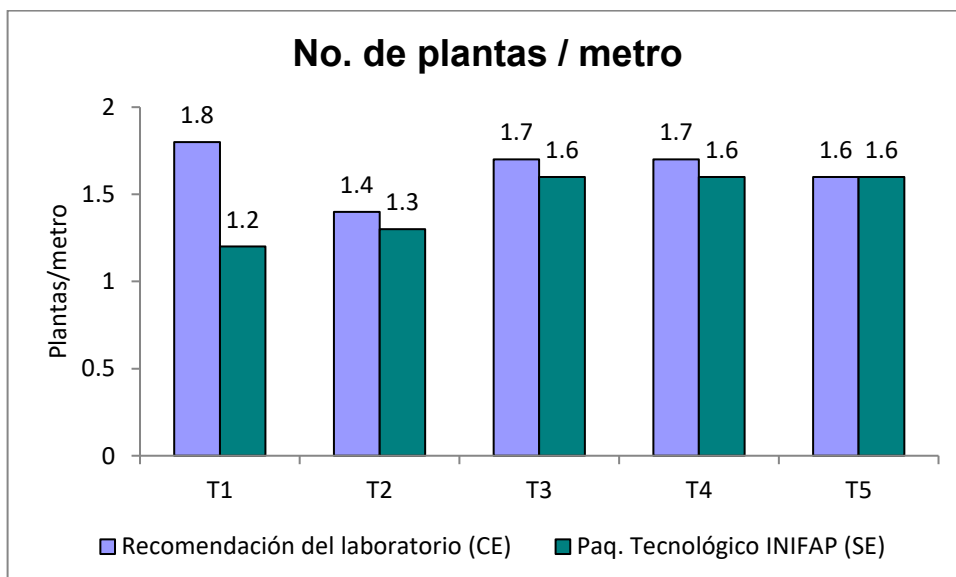


Figura 4. 36 Evaluación de No. de plantas con las dos dosis de fertilización.

En la Figura 4.37 se muestra el promedio del rendimiento en fresco en cada una de las parcelas, el mejor fue el T5 con paquete tecnológico INIFAP 23 t/ha y el menor fue el T1 con paquete tecnológico INIFAP, en el T1 hay una diferencia de 35.78% (7.8 t/ha), en el T2 hay 9.57% (1.8 t/ha), en el T3 hay 4.22% (0.9 t/ha), en el T4 hay 3.33% (0.7 t/ha), en el T5 hay un 13.91% (3.2 t/ha).

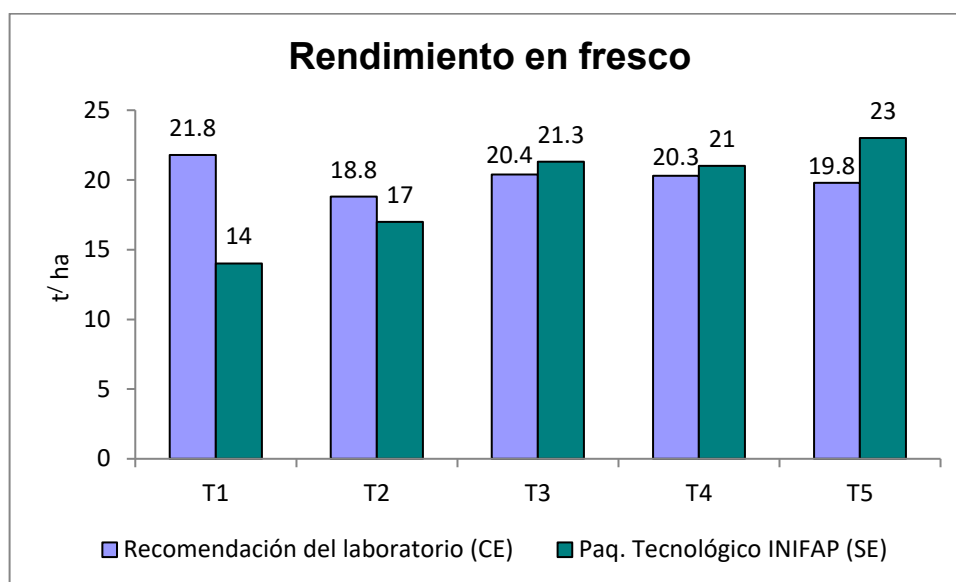


Figura 4. 37 Evaluación de rendimiento con las dos dosis de fertilización.

En el cuadro 4.54 se muestra el rendimiento promedio en cada uno de los tratamientos, se observa que el mejor tratamiento fue el T5 con paquete tecnológico INIFAP, y el más bajo fue el de T1 con el paquete tecnológico INIFAP. La mayor diferencia se encuentra entre las dos dosis del T1 con una diferencia del 35.78% (7.8 t/ha), seguido del T5 con 13.91% (3.2 t/ha), el T2 con 9.57% (1.8 t/ha), el T3 con 4.22% (0.9 t/ha), y el T4 con el 3.33% (0.7 t/ha).

Cuadro 4. 54 Rendimiento promedio de peso en fresco de maíz para forraje (t/ha) contabilizando el número de plantas emergidas

Tratamientos	Análisis de suelo con enmienda	Paquete tecnológico INIFAP sin análisis de suelo
T1	21837.5	14009
T2	18845.1	16760.73
T3	20440.69	21303.53
T4	20345.99	21129
T5	19801	23612.6

4.5.2 Análisis estadístico de labranza y fertilización

Se analizaron las siguientes variables de cultivo como: Longitud de planta (m), diámetro de planta (mm), Peso de planta (g), Peso de mazorca (g), peso total de planta (g) y rendimiento en fresco (ton/ha) y de operación de los sistemas de labranza consumo de combustible (l/ha), tiempo total (h/ha) y costo de maquila (\$). Los datos obtenidos se sometieron a la técnica de análisis de varianza, El diseño experimental utilizado, fue un bloque al azar con 10 tratamientos y 5 repeticiones y pruebas de comparación de medias con Tukey ($P=0.05$) con el paquete estadístico RStudio. Para la interpretación fácil de datos en el programa los tratamientos de labranza y dosis de fertilización se clasificaron de la siguiente manera:

Cuadro 4. 55 Cuadro descriptivo para corrida de datos estadísticos

Tratamiento de labranza	Fertilización	
	Laboratorio	Paquete tecnológico INIFAP
Arado de discos + paso cruzado de rastra de levante	T1	T6
Arado M.F + paso cruzado de rastra de levante	T2	T7
Arado PVPC + paso cruzado de rastra de levante	T3	T8
Multipropósito	T4	T9
Paso cruzado de rastra de tiro	T5	T10

En el cuadro 4.56 se observan la comparación de los diez tratamientos (labranza+ fertilización) con cada uno de los parámetros medidos, se observa que el T10 es el mejor en 5 de 6 parámetros, a excepción del diámetro de planta y el menor fue el T6 en 4 de 6 parámetros.

Cuadro 4. 56 Comparación de tratamientos de labranza+ fertilización

Longitud de planta (m)	Diámetro de planta (mm)	Peso de planta (g)	Peso de mazorca (g)	Peso de planta + peso de mazorca (g)	Rendimiento en fresco t/ha
T10 2.224 a	T9 19.210 a	T10 678.614 a	T10 502.022 a	T10 1180.634 a	T10 23.00000 a
T8 2.126 ab	T8 19.126 ab	T8 639.124 ab	T9 449.798 ab	T8 1078.662 ab	T1 21.80000 b
T9 2.116 ab	T2 18.900 abc	T2 608.072 ab	T8 439.538 ab	T9 1050.450 ab	T8 21.30333 c
T5 2.068 ab	T1 18.294 abc	T7 603.650 ab	T2 438.876 ab	T2 1046.948 ab	T9 21.00000 c
T1 2.058 b	T10 18.222 abc	T9 600.652 ab	T5 436.030 ab	T7 1031.426 ab	T3 20.40000 d
T7 2.054 b	T6 17.670 abc	T1 598.150 ab	T7 427.776 ab	T5 990.050 b	T4 20.30333 d
T3 2.026 b	T7 17.180 abc	T6 568.410 ab	T4 419.988 ab	T1 981.468 b	T5 19.80000 e
T4 2.018 b	T5 16.770 abc	T4 560.542 b	T3 411.212 ab	T4 980.530 b	T2 18.80000 f
T2 2.016 b	T4 16.626 bc	T5 554.020 b	T1 383.318 b	T3 950.732 b	T7 17.00000 g
T6 2.006 b	T3 16.424 c	T3 539.520 b	T6 365.542 b	T6 933.952 b	T6 14.00000 h

4.6 Análisis estadístico de labranza y fertilización

ANÁLISIS DE LONGITUD DE PLANTA

En los cuadros 4.57 y 4.58 se muestra la respuesta de la variable longitud de planta en el análisis de varianza.

Cuadro 4. 57 Análisis de varianza de longitud de planta

Respuesta: Variable					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr(>F)
Repetición	4	0.10285	0.025712	4.424	0.005193 **
Tratamientos	9	0.20505	0.022783	3.920	0.001514 **
Residuales	36	0.20923	0.005812		
Códigos de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Cuadro 4. 58 Análisis de varianza de longitud de planta

Grupos		
Tratamiento	Variable	Grupos
T10	2.224	a
T8	2.126	ab
T9	2.116	ab
T5	2.068	ab
T1	2.058	b
T7	2.054	b
T3	2.026	b
T4	2.018	b
T2	2.016	b
T6	2.006	b

En la Figura 4.38 se observa la comparación de medias sobre longitud de planta, el T10 es el mejor mientras que el T8, T9 y T5 son similares a este, el T1, T7, T3, T4, T2 y T6 son iguales en este parámetro.

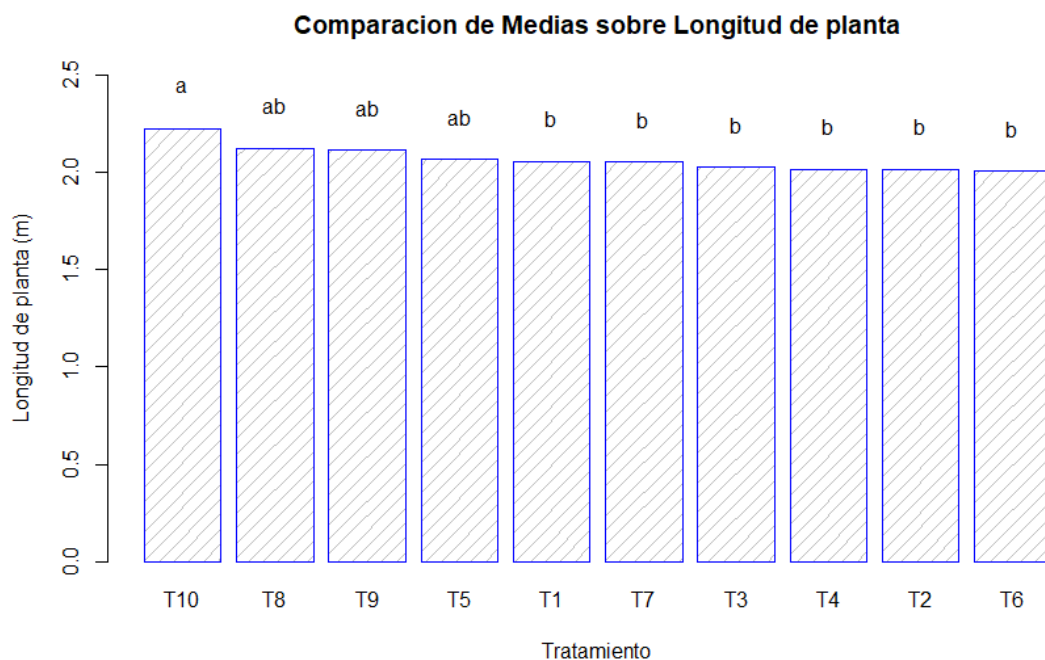


Figura 4. 38 Comparación de medias sobre longitud de planta.

ANÁLISIS DE DIÁMETRO DE PLANTA

En los cuadros 4.59 y 4.60 se muestran los resultados del diámetro de planta realizados con el análisis de varianza.

Cuadro 4. 59 Análisis de varianza de diámetro de planta

Respuesta: Variable					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr(>F)
Repetición	4	45.068	11.2669	7.6852	0.0001388 ***
Tratamientos	9	50.473	5.6081	3.8253	0.0018092 **
Residuales	36	52.778	1.4660		
Códigos de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Cuadro 4. 60 Análisis de varianza de diámetro de planta

Grupos		
Tratamiento	Variable	Grupos
T9	19.210	a
T8	19.126	ab
T2	18.900	abc
T1	18.294	abc
T10	18.222	abc
T6	17.670	abc
T7	17.180	abc
T5	16.770	abc
T4	16.626	bc
T3	16.424	c

En la figura 4.39 se muestra el diámetro de planta de los 10 diferentes combinaciones, se observa que el mejor fue el T9 (multipropósito + paquete tecnológico INIFAP), pero similar a este está el T8.

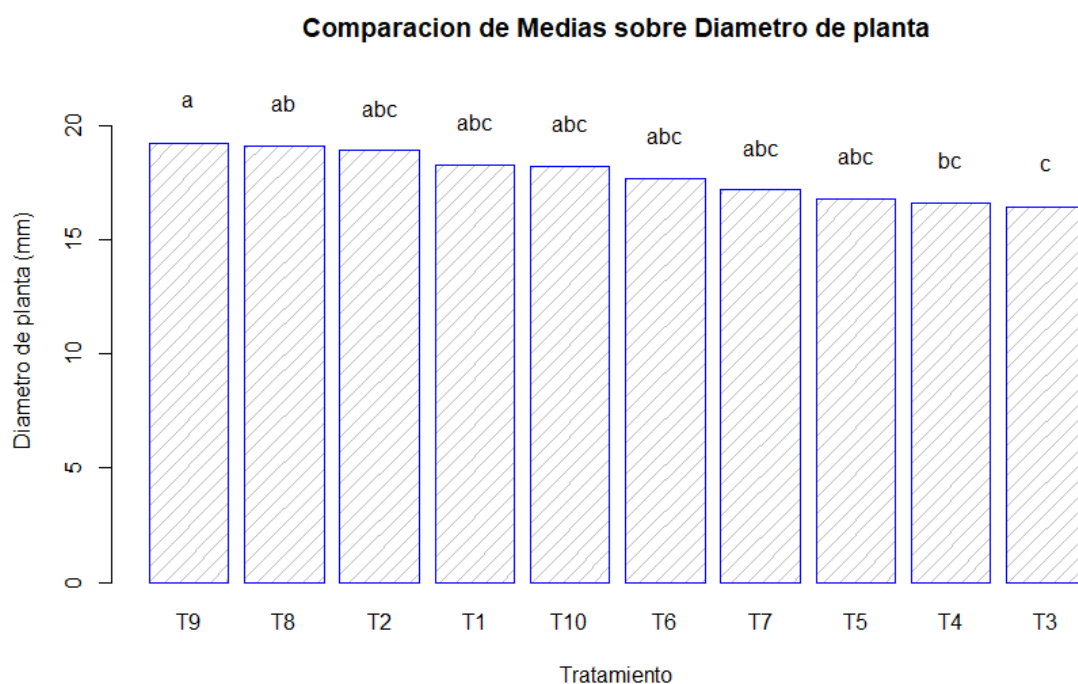


Figura 4. 39 Análisis de varianza de diámetro de planta.

ANÁLISIS DE PESO DE PLANTA

En los cuadros 4.61 y 4.62 se muestra la respuesta del análisis de varianza realizado para el peso de planta.

Cuadro 4. 61 Análisis de varianza de peso de planta

Respuesta: Variable					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr(>F)
Repetición	4	28424	7105.9	2.3427	0.07332
Tratamientos	9	79388	8820.8	2.9080	0.01079
Residuales	36	109198	3033.3		
Códigos de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Cuadro 4. 62 Análisis de varianza de peso de planta.

Grupos		
Tratamiento	Variable	Grupos
T10	678.614	a
T8	639.124	ab
T2	608.072	ab
T7	603.650	ab
T9	600.652	ab
T1	598.150	ab
T6	568.410	ab
T4	560.542	b
T5	554.020	b
T3	539.520	b

En la Figura 4.40 se muestra la comparación de medias sobre peso de planta, se observa que el mejor es el T10, mientras que el T8, T2, T7, T9, T1 y T6 son similares al T10 y el T4, T5 y T3 son iguales, pero con menor peso.

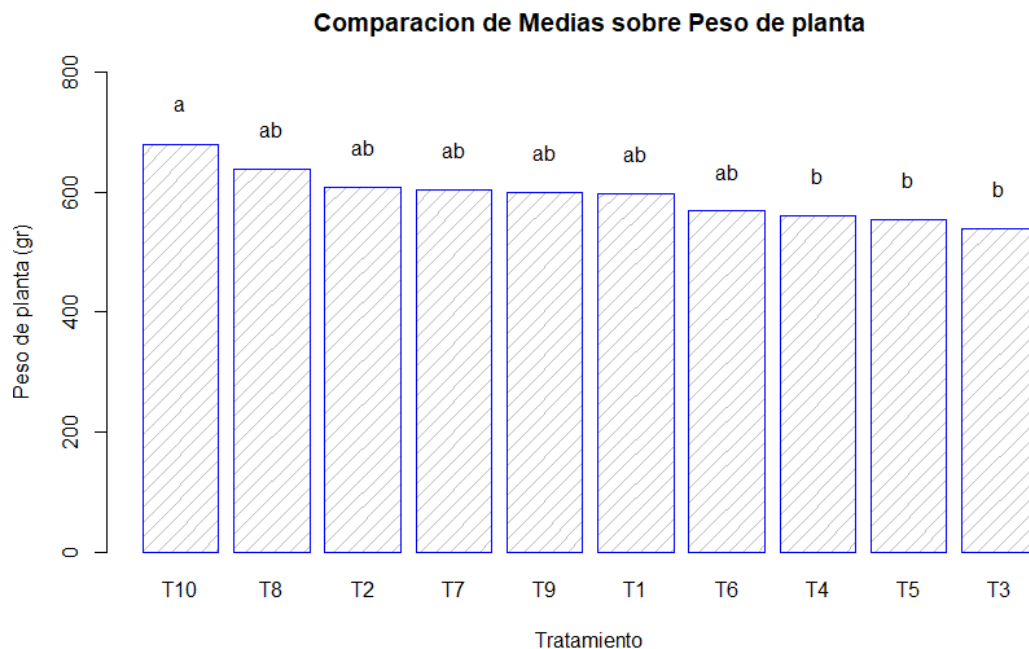


Figura 4. 40 Comparación de medias sobre peso de planta.

ANÁLISIS DE PESO DE MAZORCA

En los cuadros 4.63 y 4.64 se muestra la respuesta del análisis de varianza realizado para el peso de mazorca.

Cuadro 4. 63 Análisis de varianza de peso de mazorca

Respuesta: Variable					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr(>F)
Repetición	4	25532	6382.9	3.4744	0.016871 *
Tratamientos	9	62552	6950.2	3.7832	0.001959 **
Residuales	36	66137	1837.1		
Códigos de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Cuadro 4. 64 Análisis de varianza de peso de mazorca

Grupos		
Tratamiento	Variable	Grupos
T10	502.022	a
T9	449.798	ab
T8	439.538	ab
T2	438.876	ab
T5	436.030	ab
T7	427.776	ab
T4	419.988	ab
T3	411.212	ab
T1	383.318	b
T6	365.542	b

En la Figura 4.41 se observa la comparación de medias sobre peso de mazorca, se observa que el T10 es el mejor, mientras que el T9, T8, T2, T5, T7, T4 y T3 son similares al T10, y los T1 y T6 son iguales, pero con menor peso de mazorca.

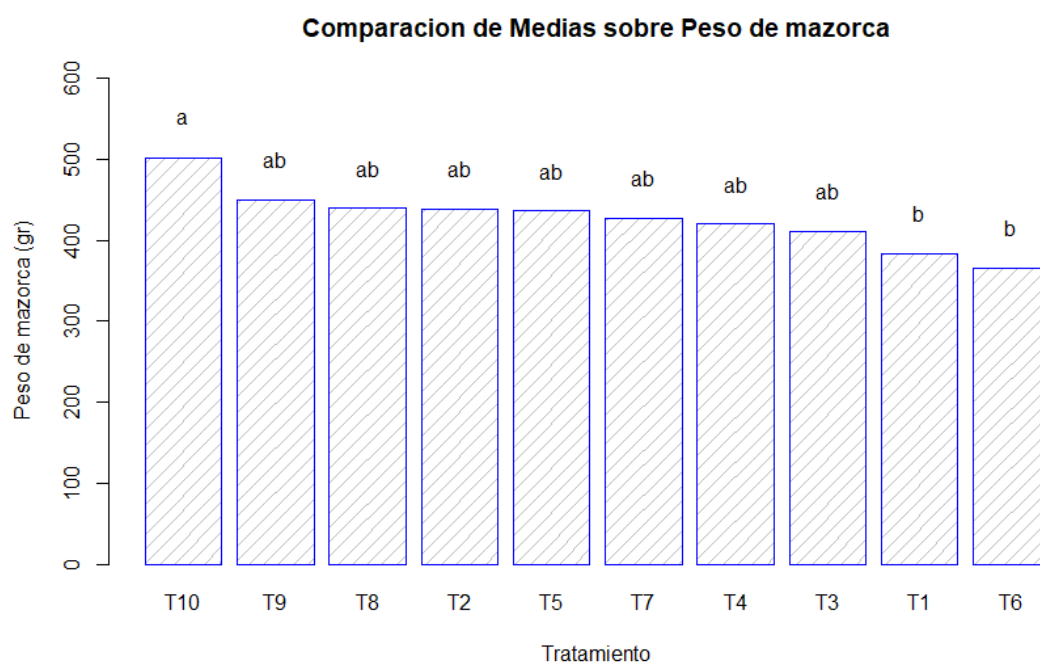


Figura 4. 41 Comparación de medias sobre peso de mazorca.

ANÁLISIS DE PESO TOTAL DE PLANTA

En los cuadros 4.65 y 4.66 se muestra la respuesta del análisis de varianza realizado para el peso total de la planta.

Cuadro 4. 65 Análisis de varianza de peso total de planta

Respuesta: Variable					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr(>F)
Repetición	4	94374	23593.5	3.0395	0.029461 *
Tratamientos	9	235543	26171.5	3.3716	0.004317 **
Residuales	36	279440	7762.2		
Códigos de significancia: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Cuadro 4. 66 Análisis de varianza de peso total de planta

Grupos		
Tratamiento	Variable	Grupos
T10	1180.634	a
T8	1078.662	ab
T9	1050.450	ab
T2	1046.948	ab
T7	1031.426	ab
T5	990.050	b
T1	981.468	b
T4	980.530	b
T3	950.732	b
T6	933.952	b

En la Figura 4.42 se muestra la comparación de medias del peso de planta + peso de mazorca, se observa que el mejor fue el T10, mientras que el T8, T9, T2 y T7 son similares al T10, después siguen el T5, T1, T4 y T3 y T6 que son iguales en este parámetro.

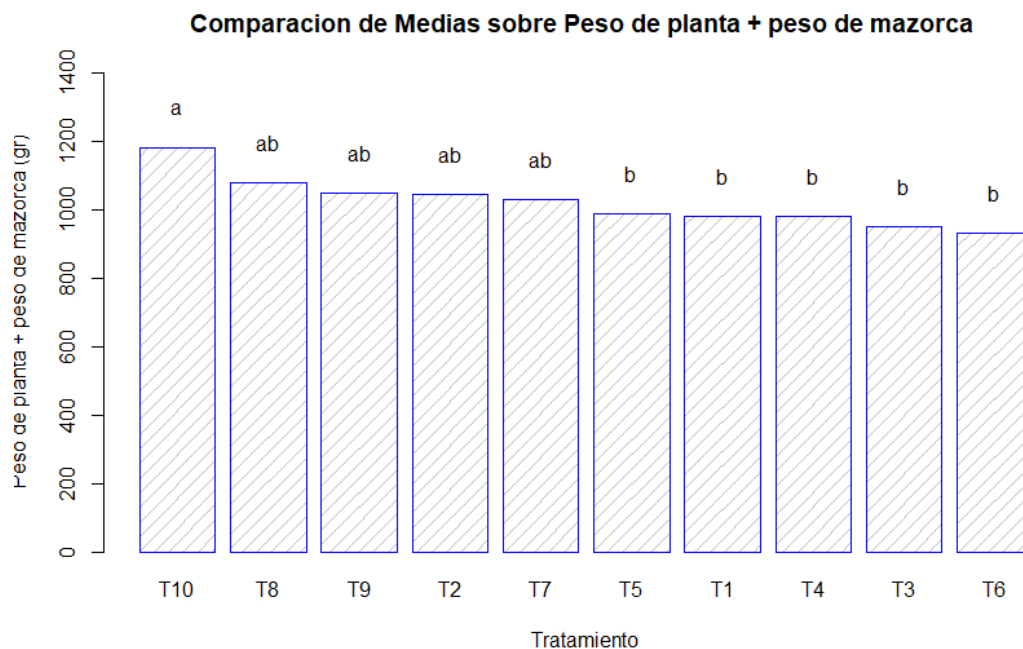


Figura 4. 42 Comparación de medias sobre peso de planta+ peso de mazorca.

ANÁLISIS DE RENDIMIENTO

En los cuadros 4.67 y 4.68 se muestra la respuesta del análisis de varianza realizado para el rendimiento.

Cuadro 4. 67 Análisis de varianza de rendimiento

Respuesta: Variable					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Pr(>F)
Repetición	2	19.483	9.7417	575.02	< 2.2e-16 ***
Tratamientos	9	182.994	20.3327	1200.17	< 2.2e-16 ***
Residuales	18	0.305	0.0169		
Códigos de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					

Cuadro 4. 68 Análisis de varianza de rendimiento

Grupos		
Tratamiento	Variable	Grupos
T10	23.000	a
T1	21.800	b
T8	21.303	c
T9	21.000	c
T3	20.400	d
T4	20.303	d
T5	19.800	e
T2	18.800	f
T7	17.000	g
T6	14.000	h

En la Figura 4.43 se muestra la comparación de medias sobre rendimiento en fresco, aquí se muestra una mayor diferencia entre tratamientos, el mejor fue el T10, seguido el T1, después el T8 y T9 iguales, el T3 y T4 iguales, después el T5, T2, T7 y por último el T6.

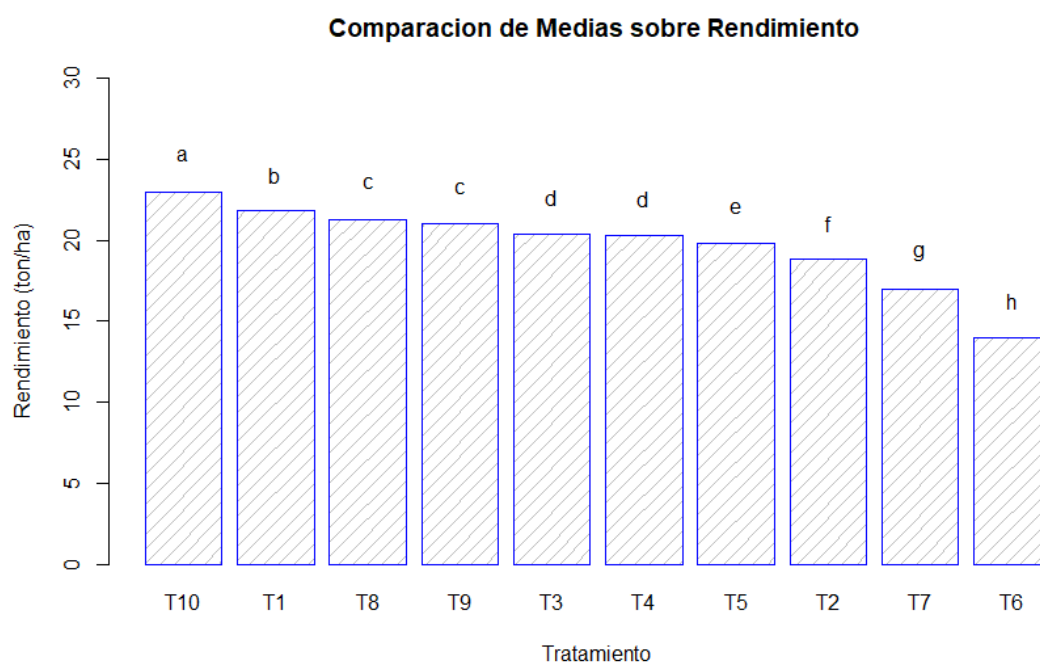


Figura 4. 43 Comparación de medias sobre rendimiento.

4.7 Determinación de parámetros físicos del suelo después de la cosecha

En el cuadro 4.69 se muestran los resultados del contenido de humedad que se obtuvieron en campo, a tres diferentes profundidades (10,20 y 30 cm), obteniendo 12.39, 14.32 y 16.07 %, se observa un menor contenido de humedad comparado con el contenido hecho antes de la siembra, donde hay una perdida que oscila desde 23.91 – 45.82 % del contenido de humedad

Cuadro 4. 69 Contenido de humedad de cada muestra después de la cosecha (%)

Muestra	Profundidad 10 cm	Profundidad 20 cm	Profundidad 30 cm
M1	13.87	14.63	18.99
M2	14.07	14.62	15.36
M3	12.54	15.07	17.92
M4	11.46	13.56	15.31
M5	12.32	14.68	15.11
M6	11.72	14.78	16.43
M7	12.98	15.59	15.61
M8	11.11	12.90	14.64
M9	11.86	13.13	14.98
M10	11.97	14.29	16.39
Promedio	12.39	14.32	16.07

En el cuadro 4.70 se muestra la densidad aparente de cada una de las muestras después de la cosecha, el promedio oscila entre 1.16 y 1.19 g/cm³. Está a comparación del inicio bajo, de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana indica que es un suelo arcilloso.

Cuadro 4. 70 Densidad aparente de muestras después de la cosecha (g/cm³)

Muestra	Profundidad 10 cm	Profundidad 20 cm	Profundidad 30 cm
M1	1.10	1.15	1.04
M2	1.08	1.21	1.18
M3	1.15	1.17	1.12
M4	1.16	1.19	1.23
M5	1.14	1.18	1.12
M6	1.17	1.17	1.13
M7	1.15	1.19	1.21
M8	1.19	1.25	1.13
M9	1.19	1.19	1.23
M10	1.24	1.24	1.20
Promedio	1.16	1.19	1.16

En el cuadro 4.71 se observa el porcentaje de porosidad en cada una de las muestras, oscila entre 55.15 – 56.51 %, este aumento a comparación de las muestras tomadas antes de la siembra. Por otro lado, a medida que incrementa la densidad aparente, la porosidad disminuye y ejerce directamente sobre la aireación del suelo (INTAGRI, 2017)

Cuadro 4. 71 Porosidad de muestras después de la cosecha (%)

Muestra	Profundidad 10 cm	Profundidad 20 cm	Profundidad 30 cm
M1	58.61	56.65	61.03
M2	59.21	54.53	55.74
M3	56.65	55.89	57.86
M4	56.50	55.44	53.63
M5	57.10	55.74	58.01
M6	56.19	56.04	57.70
M7	56.95	55.44	54.53
M8	55.14	53.17	57.70
M9	55.44	55.14	53.63
M10	53.32	53.47	54.83
Promedio	56.51	55.15	56.47

En el cuadro 4.72 se muestra un resumen de los parámetros físicos hechos en campo después de la cosecha.

Cuadro 4. 72 Datos promedio de parámetros físicos hechos en campo después de la cosecha

Profundidad de muestreo (cm)	Contenido de humedad (%)	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)	Resistencia a la penetración (MPa)
10	12.39	1.16	56.51	
20	14.32	1.19	55.15	
30	16.07	1.16	56.47	

En el cuadro 4.73 se muestran los resultados de los parámetros físicos y químicos después de la siembra proporcionados por el laboratorio certificado.

Cuadro 4. 73 Determinación de parámetros físicos y químicos del suelo después de la cosecha (laboratorio certificado)

Parámetros físicos	
Textura	Franco
Densidad aparente (g/cm ³)	1.17
Parámetros químicos	
PH	6.15 (Moderadamente Acido)
Conductividad eléctrica (dS/m)	1.38 (Moderadamente bajo)
Materia orgánica (% (p/p))	2.91(Moderadamente alto)
Capacidad de intercambio catiónico	13.8 (Moderadamente bajo)

En el cuadro 4.74 se muestra un cuadro comparativo de los parámetros, se observa que la densidad aparente bajo, el pH disminuyo y la conductividad eléctrica aumento.

Cuadro 4. 74 Cuadro comparativo de la determinación de los parámetros hechos por el laboratorio en sus dos fases

Período	Antes de la siembra	Después de cosecha
Parámetros físicos del suelo		
Textura	Franco	Franco
Densidad aparente (g/cm ³)	1.32	1.17
Parámetros químicos del suelo		
pH	6.76 (Neutro)	6.15 (Moderadamente ácido)
Conductividad eléctrica (dS/m)	0.55 (Bajo)	1.38 (Moderadamente Bajo)
Materia orgánica (% (p/p))	2.57 (Moderadamente alto)	2.91 (Moderadamente alto)
Capacidad de intercambio catiónico	13.4 (Moderadamente bajo)	13.8 (Moderadamente bajo)

En el cuadro 4.75 se observa que los cambios entre los parámetros físicos son mínimos, esto debido a que depende de otros factores (clima, organismos, relieve, roca madre y tiempo), se observa mayor cambio en el contenido de humedad esto porque ese factor depende de la humedad que tenía el suelo al medirlo en ese momento.

Cuadro 4. 75 Comparación de parámetros físicos hechos en campo

Profundidad de muestreo (cm)	Contenido de humedad (%)		Densidad aparente (g/cm ³)		Porosidad (%)		Resistencia a la penetración (MPa)
	Antes de la siembra	Después de cosecha	Antes de la siembra	Después de cosecha	Antes de la siembra	Después de cosecha	Antes de la siembra
10	22.87	12.39	1.27	1.16	52.15	56.51	0.92
20	20.34	14.32	1.36	1.19	48.87	55.15	2.01
30	21.12	16.07	1.27	1.16	52.1	56.47	1.90

4.8 Relación de beneficio/ costo.

En el cuadro 4.76 se muestra como identificar los tratamientos para el entendimiento en el cuadro 4.79 y 4.80, con el tratamiento de labranza + fertilización.

Cuadro 4. 76 Identificación de tratamientos para el cuadro de rentabilidad

Tratamiento de labranza	Fertilización	
	Laboratorio (CE)	Paquete tecnológico INIFAP (SE)
Arado de discos + paso cruzado de rastra de levante	T1CE	T1SE
Arado M.F + paso cruzado de rastra de levante	T2CE	T2SE
Arado PVPC + paso cruzado de rastra de levante	T3CE	TESE
Multipropósito	T4CE	T4SE
Paso cruzado de rastra de tiro	T5CE	T5SE

En el cuadro 4.77 se muestra una comparativa de los costos y beneficios de los diferentes tratamientos (labranza+ fertilización), considerando el precio de diésel en 25 en litro y el precio del forraje en \$1.70 el kilo, se consideraron solo esas cuatro variables ya que son las que tienen salidas y entradas.

Cuadro 4. 77 Costos y beneficios de los tratamientos (Labranza+ fertilización)

Tratamiento de labranza + fertilización	*Consumo de combustible (l/ha)	Costo combustible (\$)	Costo de maquila (\$)	Costo nutrición (\$)	Total (\$)	*Rendimiento (t/ha)	Ingreso Total (\$)
T1CE	37.5	937.5	3800	3344.8	3344.8	21.84	37128
T1SE	37.5	937.5	3800	5800	5800	14.01	23817
T2CE	24.5	612.5	3300	3344.8	3344.8	18.85	32045
T2SE	24.5	612.5	3300	5800	5800	17.28	29376
T3CE	25	625	3300	3344.8	3344.8	20.44	34748
T3SE	25	625	3300	5800	5800	21.3	36210
T4CE	10	250	2000	3344.8	3344.8	20.35	34595
T4SE	10	250	2000	5800	5800	21.01	35717
T5CE	18.5	462.5	1800	3344.8	3344.8	19.8	33660
T5SE	18.5	462.5	1800	5800	5800	23.32	39644

*Los precios de consumo de combustible y rendimiento (precio de forraje en fresco) fueron tomados en cuenta con el precio actualizado el día 15/07/2025.

En el cuadro 4.78 se muestra la relación de costo/ beneficio de los diferentes tratamientos, se observa que todos los tratamientos son rentables, pero el mejor tratamiento fue el T4CE (Multipropósito + fertilización recomendada por laboratorio). Estos resultados son similares a los obtenidos por Reynolds 2020 al realizar la misma evaluación en la producción de maíz para grano en ciclo de temporal, así mismo, menciona que el equipo multipropósito fue superior en las variables de calidad de labor como son área disturbada del suelo y diámetro medio de agregados.

Cuadro 4. 78 Relación beneficio/costo de cada tratamiento (labranza+ fertilización)

Tratamiento de labranza + fertilización	Total Costos (\$)	Total beneficios (\$)	RBC
T1CE	8082.3	37128	4.59
T1SE	10537.5	23817	2.26
T2CE	7257.3	32045	4.42
T2SE	9712.5	29376	3.02
T3CE	7269.8	34748	4.78
T3SE	9725	36210	3.72
T4CE	5594.8	34595	6.18
T4SE	8050	35717	4.44
T5CE	5607.3	33660	6.00
T5SE	8062.5	39644	4.92

En la Figura 4.44 se muestra una grafica de la relación beneficio/costo, se observa la diferencia de la relación, pero como conclusión todos los tratamientos (labranza-fertilización) son rentables.

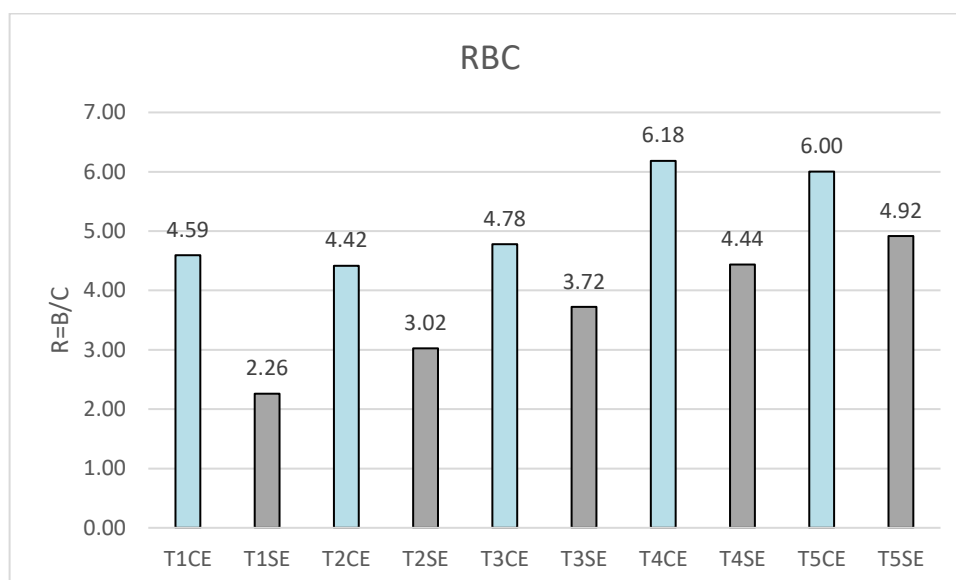


Figura 4. 44 Relación de beneficio costo de tratamientos (labranza + fertilización).

V. CONCLUSIONES

1. Se determinó que cuatro factores físicos (como la textura, la humedad del suelo, la densidad aparente y la resistencia a la penetración) y cuatro factores químicos (como el pH, la conductividad eléctrica, la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico) son indispensables para optimizar la toma de decisiones al implementar un cultivo.
2. En las determinaciones de los cuatro parámetros físicos aun no hubo cambios significativos en un primer ciclo productivo, caso opuesto a los parámetros químicos, los cuales presentaron un cambio significativo, debido a que el cultivo absorbe y ocupa nutrientes para su desarrollo.
3. En las variables de desempeño técnico (consumo de combustible, tiempo total de labor y costo de maquila) los tratamientos T2, T3, T4 y T5 presentaron un ahorro significativo en comparación con el tratamiento (T1), el cual es el más utilizado en la preparación de suelos en México (Arado de disco + Paso cruzado de rastra de levante).
4. El T5 sin enmienda (Paso cruzado de rastra de tiro + Paquete tecnológico INIFAP) obtuvo el rendimiento más alto y presentó las mejores condiciones en seis de siete parámetros como son: longitud de planta, peso de planta, peso de mazorca, peso de planta+ peso de mazorca y rendimiento.
5. De acuerdo con el análisis de beneficio/costo el T4CE (Multipropósito+ fertilización recomendada por laboratorio) es el más rentable.

Finalmente se concluye que la producción de maíz para forraje con el uso de análisis del suelo y aplicación de enmiendas incrementa la rentabilidad del cultivo.

VI. LITERATURA CITADA

INTRAGRI. 2017. Los Factores de Formación del suelo. Serie Suelos. Núm. 27. Artículos Técnicos de INTRAGRI. México. 4 p.

Reynolds Chavéz M.A., Capetillo B.A., Zetina L.R., Cadena Z.M., López L.J.A. 2024. Tecnología multipropósito para la preparación simultánea de la labranza primaria y secundaria del suelo. Inifap. Primera edición. Veracruz. México. 43p.

PAGINAS WEB CONSULTADAS.

Abel, I., Gabriela C, 2022. Distribución de los suelos de México <https://lalupa.mx/2022/06/26/distribucion-de-los-suelos-de-mexico-abel-ibanez-huerta-y-gabriela-castano-meneses/> (12, enero, 2025).

AQM laboratorios, 2017. Inicio de la ciencia y análisis de suelos. <https://aqmlaboratorios.com/inicio-de-la-edafologia-y-analisis-de-suelos/> (04, agosto, 2025).

BURBANO, H. 2016. El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. Rev. Cienc. Agr. 33(2):106 - 116. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58> (11, enero, 2025).

Calderón, M., Bautista M., Rojas G, 2018. Propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, indicadores del estado de diferentes ecosistemas en una terraza alta del departamento del Mera. OR <https://doi.org/10.22579/20112629.524> (21, enero, 2025).

Calvo Adriana, 2017. Análisis de suelos agrícolas: Guía práctica. <https://blog.agroptima.com/es/blog/analisis-de-suelos-agricolas/> (15, julio, 2025).

Caro Lagos – Cursos y talleres, s/f. ¿Qué es el suelo? Y ¿cuáles son los componentes del suelo? <https://www.carolagos.com/que-es-el-suelo-y-cuales-son-los-componentes-del-suelo/> (10, enero, 2025).

Castillo, M., Lezama M., Infante P., Juárez M. 2024. Valoración de parámetros del suelo que contribuyan a identificar la productividad de unidades de producción

agrícola. Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan. Volumen (12): 11 p.
<https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v12i2.594> (25, enero, 2025).

Centeno F, 2021. ¿Qué es el pH del suelo y para qué nos sirve?
<https://www.fertilab.com.mx/blog/319-que-es-el-ph-del-suelo-y-para-que-nos-sirve/>
(04, abril, 2025).

Centeno F, 2022. La textura y la fertilidad del suelo.
<https://www.fertilab.com.mx/blog/309-la-textura-y-la-fertilidad-del-suelo/> (19, julio, 2025).

Cotler, H., Corona J., Galeana J. 2020. Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: Una primera aproximación. <https://doi.org/10.14350/riq.59976> (11, julio, 2025).

Cotler, H., Corona J., Galeana J., 2020. Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: Una primera aproximación. <https://doi.org/10.14350/riq.59976> (19, junio, 2025).

El crisol, 2020. Diagnóstico de la compactación del suelo utilizando un penetrómetro. <https://elcrisol.com.mx/blog/post/diagnostico-de-la-compactacion-del-suelo-utilizando-un-penetrometro#:~:text=La%20varilla%20del%20penetr%C3%B3metro%20debe,en%20la%20varilla%20del%20penetr%C3%B3metro> (18, marzo, 2025).

FAO. s/f. Textura del suelo.
https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm (21, marzo, 2025).

Fertilab, 2019. LA SALINIDAD DEL SUELO Y SU FERTILIDAD.
<https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/NTF-19-025-La-salinidad-del-suelo-y-su-fertilidad.pdf> (05, abril, 2025).

Fertilab, 2023. La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo.
https://www.fertilab.com.mx/AdminFertilab/Notas_Tecnicas/pdf_nota/La_Capacidad_de_Intercambio_Cationico_del_Suelo.pdf (10, mayo, 2025).

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020. Uso de la tierra en la agricultura según las cifras. <http://www.fao.org/sustainability/news/detail/es/c/1279267/> (11, enero, 2025).

Fredy Pérez Cortés, 2020. Muestreo y determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con bosque natural y plantaciones comerciales. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México. 124 p. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/a24d0ad5-350d-480c-a978-931f09c9d19d/content> (17, julio, 2025).

G, Salva, 2024. Significado de profundidad de suelo <https://amantesdelasplantas.com/botanica/que-es-la-profundidad-del-suelo/> (18, marzo, 2025).

García Centeno L, 2017. Metodologías de campo para determinar profundidad, densidad aparente, materia orgánica, infiltración del agua, textura y pH en el suelo. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NP33G216m.pdf> (02, abril, 2025).

García, Y., Ramírez W., Sánchez Saray. 2012. Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. Revista Pastos y Forrajes. Volumen (35): 13 p. <https://www.redalyc.org/pdf/2691/269125071001.pdf> (26, enero, 2025).

Gerardo Gonzales López. 2013. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 72 p. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5735/T19674%20GONZALEZ%20LOPEZ,%20GERARDO%20%20TESIS.pdf?sequence=1> (13, julio, 2025).

Hernández, O., De la Cruz J., López G., Silva K., Vite C., 2014. Prueba de variedades de maíz en el municipio de paso de ovejas, Ver. file:///C:/Users/yotzi_60fevrj/Downloads/Prueba+de+variedades+de+ma%C3%ADz+en+el+municipio+de+Paso+de+Ovejas,+Ver..pdf (21, marzo, 2025).

Hernández., Ávila G., García S. s/f. Situación actual del recurso suelo en México y la incorporación de abonos orgánicos como estrategia para su conservación. <https://ru.iiec.unam.mx/5454/1/070-Hern%C3%A1ndez-%C3%81vila-Garc%C3%ADa.pdf#:~:text=Algunas%20pr%C3%A1cticas%20de%20manejo%20>

[de%20los%20suelos,el%20uso%20del%20suelo%2C%20han%20propiciado%20l](#)
[a](#) (20, julio, 2025).

INEGI, 2022. Conjunto de datos de Perfiles de suelos. Escala 1:250 000. Serie II (Continuo Nacional).
<https://inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825266707> (13, enero, 2025).

INIA.s/f. EQUIPOS DE LABRANZA PARA EL MANEJO DE SUELOS. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Biblioteca Digital INIA. México D.F. 36 p
<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/12e25f48-135d-41fa-9b7c-0f629896eeb9/content> (02, julio, 2025).

Jacto, 2023. Preparación del suelo: Paso a paso para la siembra.
<https://bloglatam.jacto.com/preparacion-terreno/> (24, mayo, 2025).

Jhiorranni, F., Anderson G, 2024. Preparación mecanizada del suelo. Universidad Federal Rural de Río de Janeiro, y Tulio de Almeida Machado, del Instituto Federal de Goiano.
<https://revistacultivar-es.com/articulos/preparaci%C3%B3n-mecanizada-del-suelo> (15, junio, 2025).

López, M., Estrada M. 2015. Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Bioagrociencias. Volumen (8): 8 p.
https://www.academia.edu/15103699/2015_Propiedades_f%C3%ADsicas_qu%C3%ADmicas_y_biol%C3%B3gicas_del_suelo_Bioagrociencias_8_1_3_11 (28, enero, 2025).

Luis Hernández Diana, 2023.El suelo. <https://bmasf.mx/el-suelo/>

Manvert, 2024. Cómo aumentar el rendimiento en maíz.
<https://manvert.com/medios/rendimiento-maiz> (06, junio, 2025).

Marlene Corona, 2022. ¿Buscas información sobre los Suelos? Ciencia UNAM.
<https://ciencia.unam.mx/leer/1208/-buscas-informacion-sobre-los-suelos-> (10, enero, 2025).

Nix Jaime, 2024. La importancia del análisis del suelo en la planificación agrícola. <https://biomemakers.com/es/blog/la-importancia-del-analisis-del-suelo-en-la-planificacion-agricola> (20, julio, 2025).

Nueva Escuela Mexicana Digital, 2025. La importancia de los suelos y las actividades humanas que lo degradan <https://nuevaescuelamexicana.sep.gob.mx/contenido/coleccion/la-importancia-de-los-suelos-y-las-actividades-humanas-que-lo-degradan/> (11, enero, 2025).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura, s/f. La importancia del suelo <https://www.fao.org/soils-portal/about/es/> (11, enero, 2025).

Paola Moreno, 2024. Humedad del suelo. https://www.appropedia.org/Humedad_del_suelo (20, febrero, 2025).

Pérez López E, 2013. Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2215-24582013000300001 (17, julio, 2025).

Plamann, G., Nix J. s/f. El análisis de suelos agrícolas. <https://biomemakers.com/es/la-guia-completa-sobre-el-analisis-del-suelo> (03, agosto, 2025).

Plamann, G., Nix J. s/f. El análisis de suelos agrícolas. <https://biomemakers.com/es/la-guia-completa-sobre-el-analisis-del-suelo> (11, julio, 2025).

Prado B., 2022. El Suelo en la UNAM: Una mirada a la atención del suelo desde la Universidad Nacional. <https://pueis.cic.unam.mx/wp-content/uploads/2022/10/El-suelo-en-la-UNAM-PUEIS.pdf> (10, julio, 2025).

Rodrigo Zapata, 2018. TIPOS DE SUELOS: CARACTERIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS Y LIMOSOS. Universidad Nacional de Rosario. <https://www.fceia.unr.edu.ar/geologiaygeotecnia/TIPOS%20DE%20SUELO.pdf> (12, enero, 2025).

Rubio Gutiérrez, 2010. LA DENSIDAD APARENTE EN SUELOS FORESTALES DEL PARQUE NATURAL LOS ALCORNOCALES. UNIVERSIDAD DE SEVILLA. <https://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf> (21, marzo, 2025).

Sacsa, 2019. La importancia de la preparación del suelo. <https://www.gruposacsa.com.mx/la-importancia-de-la-preparacion-del-suelo/> (10, junio, 2025).

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2020. Maíz blanco o amarillo es cultivo de tradición y desarrollo. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-blanco-o-amarillo-es-el-cultivo-de-tradicion-y-desarrollo#:~:text=Actualmente%2C%20con%20variedades%20del%20ma%C3%ADz,y%2C%20con%20el%20blanco%2011> (06, junio, 2025).

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2021. Lanzan Red Mexicana de Laboratorios de Suelo para avanzar en la recuperación y cuidado de los suelos agrícolas. <http://www.gob.mx/agricultura/prensa/lanzan-red-mexicana-de-laboratorios-de-suelo-para-avanzar-en-la-recuperacion-y-cuidado-de-los-suelos-agricolas> (04, agosto, 2025).

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022. Red Mexicana de Laboratorios de Suelo (MEXSOLAN). <http://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/red-mexicana-de-laboratorios-de-suelo-mexsolan> (05, agosto, 2025).

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023. ¿Cómo mejorar el contenido de materia orgánica del suelo? <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/como-mejorar-el-contenido-de-materia-organica-del-suelo> (03, mayo, 2025).

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023. ¿Sabes qué es la Mexsolan?. <http://www.gob.mx/agricultura/articulos/sabes-que-es-la-mexsolan> (05, agosto, 2025),

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024. Día Nacional del Maíz. <http://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/dia-nacional-del-maiz-379031?idiom=es> (17, junio, 2025).

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024. Estudios de suelos: Del campo al laboratorio <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/estudios-de-suelos-del-campo-al-laboratorio?idiom=es> (14, julio, 2025).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018. Suelos, sostén de la vida humana <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/suelos-de-importancia-crucial-para-la-vida-humana-y-la-biodiversidad?idiom=es> (10, enero, 2025).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018. Semana Mundial del Suelo. <http://www.gob.mx/semarnat/articulos/semana-mundial-del-suelo> (10, julio, 2025).

Semarnat, 2000. Suelos. https://paot.org.mx/centro/ine-semarnat/informe02/estadisticas_2000/informe_2000/03_Suelos/3.2_Degradacion/index.htm (21, julio, 2025).

Semarnat, 2008. LA DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS EN MÉXICO. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_2008/03_suelos/cap3_2.html (13, julio, 2025).

SEMARNAT, s/f. Programa Nacional Manejo Sustentable de Tierras. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/31167/pnacdd.pdf> (06, agosto, 2025).

UPRA, 2021, Estos son los tipos de labranza que usted puede utilizar en su predio. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/Estos-son-los-tipos-de-labranza-que-usted-puede-utilizar-en-su-predio.aspx> (16, mayo, 2025).

Villazón, G., Gutiérrez G., Cobo Y., Núñez C., García R, 2022. Variabilidad espacial de la resistencia a la penetración en un haplustert crómico bajo pasto natural. Idesia (Arica), Volumen (40), Pp 7-14. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292022000100007> (15, marzo, 2025).

Yara, 2019. Cómo aumentar el rendimiento del maíz. <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/maiz/como-aumentar-el-rendimiento-del-maiz/> (15, mayo, 2025).

VII. ANEXOS

7.1 ANEXO A. Valores de peso húmedo y peso seco de muestras tomadas en el sitio.

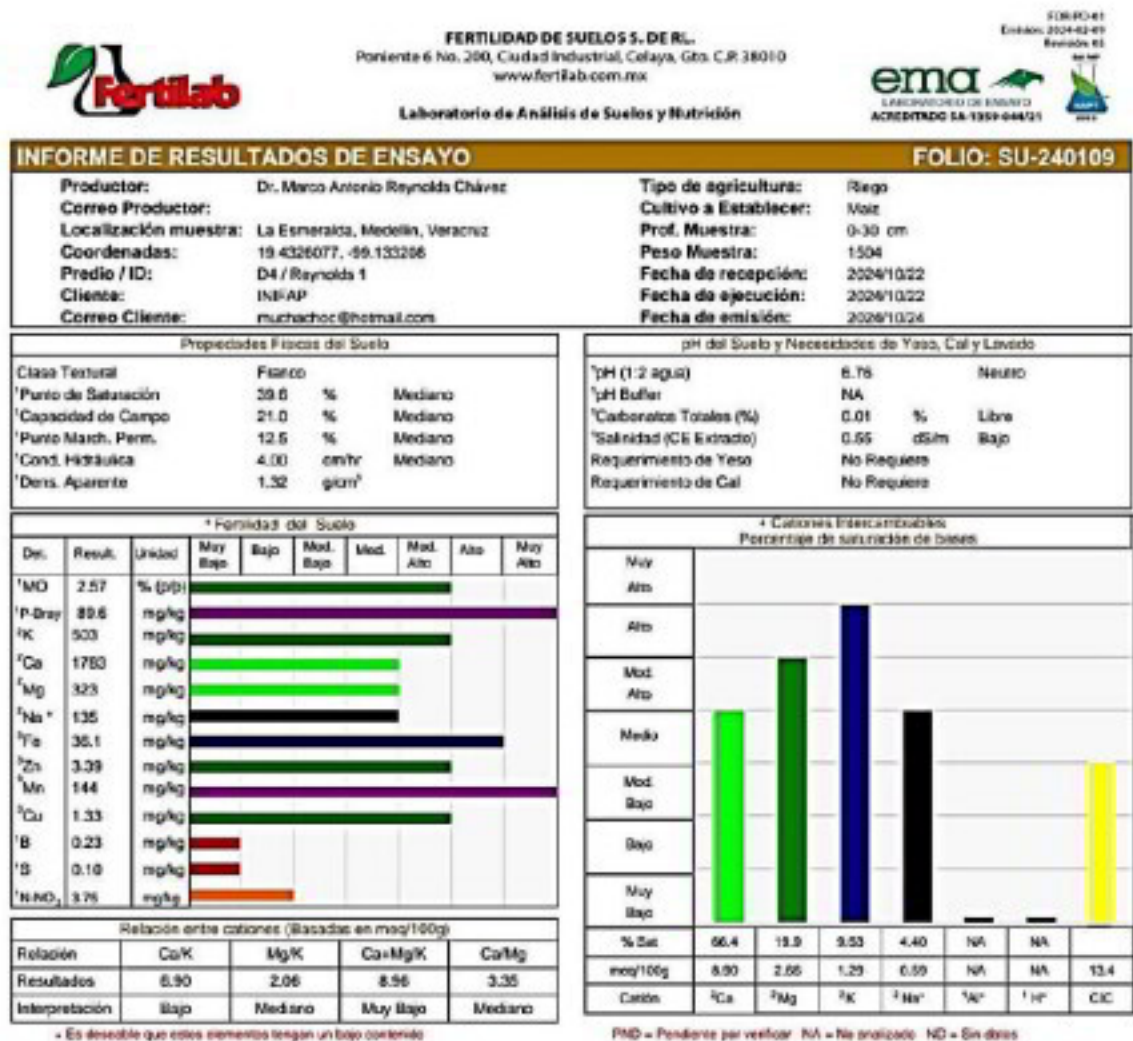
Cuadro 8. 1 Valores de peso húmedo de todas las muestras

Peso húmedo de muestras (g)			
Muestra	Profundidad 10 cm	Profundidad 20 cm	Profundidad 30 cm
M1	355	365	389
M2	373	408	374
M3	430	407	402
M4	372	403	376
M5	374	406	374
M6	394	412	366
M7	386	411	417
M8	435	417	379
M9	395	433	384
M10	380	411	379
Promedio	389.4	407.3	384

Cuadro 8. 2 Valores de peso seco de todas las muestras

Peso seco de muestras (g)			
Muestra	Profundidad 10 cm	Profundidad 20 cm	Profundidad 30 cm
M1	295	302	329
M2	304	339	310
M3	348	340	336
M4	304	335	312
M5	306	339	313
M6	318	341	297
M7	313	337	337
M8	345	344	306
M9	329	365	321
M10	306	343	310
Promedio	316.8	338.5	317.1

7.2 ANEXO B. Análisis de suelo proporcionado por el laboratorio.





FERTILIDAD DE SUELOS S. DE RL.
 Poniente 6 No. 200, Ciudad Industrial, Celaya, Gto. C.P. 38010
 www.fertilab.com.mx

Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición



RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN

FOLIO: SU-240109

Dosis de mejoradores y fertilizantes recomendada de acuerdo con los resultados del análisis del suelo

Registro Fertilab	Dosis Convencional de Fertilizantes											
	Maz	Cal	Yeso	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	B
	Toneladas por hectárea			Kilogramos por hectárea								
SU-240109	Meta: 6	0	0	76	0.0	0	0	0	0	0	0	0.8

Consideraciones del uso de fertilizantes

La dosis de fertilización sugerida es de carácter orientativo, por lo que debe entenderse que, según las condiciones de cada región y sistema productivo, pueden ajustarse según la experiencia de los técnicos de campo. Se recomienda que al momento de preparar la mezcla física se revise previamente la compatibilidad de los fertilizantes a utilizar.

Los fertilizantes sugeridos en los apartados de opciones de fertilizantes corresponden a fertilizantes granulados. Por lo tanto, cualquier cambio en las fuentes y dosis sugeridas quedan a consideración del cliente. En tal caso, Fertilab no se hace responsable de las reacciones químicas que puedan ocurrir en la mezcla final, ni en los resultados obtenidos por la aplicación de dicha mezcla de fertilizantes.

Asimismo, debido a la diversidad de mezclas que puedan sugerirse y la naturaleza de los fertilizantes, se recomienda realizar pruebas previas de estas mezclas, ya que existen diversos factores, tales como humedad ambiental y temperatura, que pueden originar que la mezcla se hidrate durante o después de su elaboración.

En el caso de producciones bajo fertirriego y/o invernadero, la dosis sugerida es total y la distribución depende del manejo de cada productor. Las dosis sugeridas en estos reportes deberán convertirse en unidades de concentración (solución nutritiva), para lo cual consulte con su técnico de campo.

Fertilab garantiza únicamente los resultados de la muestra tal como fue recibida en el laboratorio, por lo que se deslinda de toda manipulación posterior a su recepción.
 Este documento es un informe técnico y no debe ser utilizado como base para la toma de decisiones. El cliente es responsable de la interpretación de los resultados.
 El cliente tendrá 15 días naturales para revisar y presentar quejas o dudas sobre el servicio.
 El servicio de respuesta para consultas será de máximo 24 horas para cualquier duda o comentario que el cliente envíe por correo electrónico a: soporte@fertilab.com.mx.
 El cliente de muestras se notifica 15 días hábiles después de la entrega de resultados. El cliente puede solicitar la devolución de su muestra de momento y deberá enviar la guía por el medio de transporte antes del tiempo de devuelta. FERTILAB se hace responsable de la integridad de la muestra mientras se encuentre en sus instalaciones.



FERTILIDAD DE SUELOS S. DE RL.
Poniente 6 No. 200, Ciudad Industrial, Celaya, Gto. C.P. 38010
www.fertilab.com.mx

Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición



Opciones de mezclas de fertilizantes de acuerdo con la fuente de fertilizante fosforado disponible

Opción 1:

Fertilizantes (Kg/ha) utilizando MAP como fuente de fósforo

Época de aplicación	Urea	MAP	Cloruro de Potasio	Sulfato de Magnesio
Siembra	50	0	0	0
2da 30-35 días	116	0	0	0
3ra aplicación	0	0	0	0

Época de aplicación	Fe-EDDHA	Sulfato de Zinc	Sulfato de Manganeso	Sulfato de Cobre	Boronal
Siembra	0	0	0	0	8.0
2da 30-35 días	0	0	0	0	0
3ra aplicación	0	0	0	0	0

Refuerzos Foliares

Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Zinc(Zn)	Cobre (Cu)
0	0	0	0
kg de quelato	Número de aplicaciones foliares (1.5 kg de sulfato de Mn, Zn y Cu)		

Opción 2:

Fertilizantes (Kg/ha) utilizando DAP como fuente de fósforo

Época de aplicación	Urea	DAP	Cloruro de Potasio	Sulfato de Magnesio
Siembra	50	0	0	0
2da 30-35 días	116	0	0	0
3ra aplicación	0	0	0	0

Época de aplicación	Fe-EDDHA	Sulfato de Zinc	Sulfato de Manganeso	Sulfato de Cobre	Boronal
Siembra	0	0	0	0	8.0
2da 30-35 días	0	0	0	0	0
3ra aplicación	0	0	0	0	0

Refuerzos Foliares

Hierro (Fe)	Manganeso (Mn)	Zinc(Zn)	Cobre (Cu)
0	0	0	0
kg de quelato	Número de aplicaciones foliares (1.5 kg de sulfato de Mn, Zn y Cu)		

Nota: Si se mezclan fertilizantes nitrogenados con fertilizantes sulfatados, la mezcla puede humedecerse e impedir su manejo en campo. Por lo tanto, se recomienda aplicar los fertilizantes sulfatados en una tercera aplicación o bien entre la siembra y la segunda aplicación.

Fertilab garantiza únicamente los resultados de la muestra analizada que fue recibida en el laboratorio, por lo que se abstiene de toda manipulación previa o sustracción de este documento, de acuerdo a lo establecido y registrado ante el Instituto Mexicano de Propiedad Industrial, quedando prohibida su reproducción total o parcial en la información del FERTILIDAD DE SUELOS S. DE RL.
El cliente acepta: Hacer responsable para recibir y conservar los datos y resultados de los análisis de suelos.
El tiempo de respuesta para que se entregue el informe de análisis de suelos es de 10 días hábiles, contados a partir de la recepción de la muestra de análisis y de la entrega de los resultados de la muestra de análisis. El cliente puede solicitar la devolución de la muestra de análisis y de los resultados de la muestra de análisis antes del tiempo de entrega de los resultados de la muestra de análisis.
El cliente acepta: Hacer responsable de la integridad de la muestra de análisis que se encuentra en sus instalaciones.



FERTILIDAD DE SUELOS S. DE RL.
Poniente 6 No. 200, Ciudad Industrial, Celaya, Gto. C.P. 38010
www.fertilab.com.mx

Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición



RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN

FOLIO: SU-240109

Dosis Racional de Fertilizantes												
Registro	Maíz	Cal	Yeso	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	B
Fertilab	Toneladas por hectárea			Kilogramos por hectárea								
SU-240109	Mezcla	0	0	60.8	0	0	0	0	0	0	0	0.56

Opciones de mezclas de fertilizantes de acuerdo con la fuente de fertilizante fosforado disponible

Opción 1:

Fertilizantes (Kg/ha) utilizando MAP como fuente de fósforo

Época de Aplicación	Urea	MAP	Cloruro de Potasio	Sulfato de Magnesio
Siembra	40	0	0	0
2da 30-35 días	93	0	0	0
3a aplicación	0	0	0	0

Época de aplicación	Fe-EDDHA	Sulfato de Zinc	Sulfato de Manganeso	Sulfato de Cobre	Boropat
Siembra	0	0	0	0	5.6
2da 30-35 días	0	0	0	0	0
3a aplicación	0	0	0	0	0

Opción 2:

Fertilizantes (Kg/ha) utilizando DAP como fuente de fósforo

Época de Aplicación	Urea	DAP	Cloruro de Potasio	Sulfato de Magnesio
Siembra	40	0	0	0
2da 30-35 días	93	0	0	0
3a aplicación	0	0	0	0

Época de aplicación	Fe-EDDHA	Sulfato de Zinc	Sulfato de Manganeso	Sulfato de Cobre	Boropat
Siembra	0	0	0	0	5.6
2da 30-35 días	0	0	0	0	0
3a aplicación	0	0	0	0	0

Nota: Si se mezclan fertilizantes nitrogenados con fertilizantes sulfatados, la mezcla puede humedecerse e impedir su manejo en campo. Por lo tanto, se recomienda aplicar los fertilizantes sulfatados en una tercera aplicación o bien entre la siembra y la segunda aplicación.

Fertilab garantiza únicamente los resultados de la muestra tal cual como fue recibida en el laboratorio, por lo que se abstiene de toda manipulación previa a su recepción. Que el cliente asuma la responsabilidad de la muestra enviada, quedando prohibido cualquier tipo de manipulación o alteración de la muestra antes de su recepción en el laboratorio. El cliente tendrá 15 días naturales para recibir y presentar la muestra antes de ser recibida. El tiempo de respuesta para la entrega de los resultados es de 15 días hábiles. El cliente puede solicitar la devolución de la muestra de recepción y deberá enviar la guía para devolución antes del tiempo de entrega. FERTILAB se hace responsable de la integridad de la muestra mientras se encuentre en sus instalaciones.

- 1) La Dosis Racional de Fertilizantes se basa en diversos estudios científicos, los cuales indican que en aquellos suelos que presentan reservas significativas de un nutrimento determinado, como resultado de las sobre fertilizaciones de años anteriores, es posible reducir y en algunos casos omitir el aporte del nutrimento que se encuentra en tal condición. Todo esto, sin comprometer el rendimiento del cultivo.
- 2) Esta práctica es recomendada cuando los fertilizantes son escasos y costosos y cuando el análisis de suelo nos indica que es el momento de aprovechar las reservas de nutrimentos en el mismo, generadas en épocas de precios bajos de los fertilizantes.
- 3) El criterio que utilizamos para generar esta Dosis Racional de Fertilizantes se aplica individualmente para cada nutrimento y estará en función del contenido del elemento en el suelo, en la meta de rendimiento, y del tipo de cultivo del que se trate. Decisiones que toma nuestro sistema de recomendación.
- 4) Por lo anterior hoy más que nunca es imprescindible realizar el análisis de suelo para diagnosticar el nivel en que se encuentra cada uno de los nutrimentos que el cultivo requiere.
- 5) En caso de realizar incorporación de los residuos de cosecha de cereales como maíz, sorgo o trigo (Rastrojos de alta relación C/N), no es recomendable reducir el aporte de nitrógeno (N) establecido en la recomendación convencional.

Mejoradores de Suelo

- * Cuando se desea incorporar residuos de cosecha (principalmente pajas o rastrojos de gramíneas), se recomienda esparjar Sulfato de Amonio al residuo y después incorporarlo. Una dosis de 30 kg de Sulfato de Amonio por cada tonelada de residuo, son suficientes para acelerar la descomposición de los residuos.

Macronutrientes

- * La Fertilización Nitrogenada en Maíz y Sorgo se recomienda realizarla, aplicando 30 % del Nitrógeno a la siembra y el 70 % restante en uno o dos eventos más. Cuando sea posible fraccionar la aplicación total de Nitrógeno en tres eventos, se consigue una mayor eficiencia en el uso de estos fertilizantes.
- * La fuente de Nitrógeno más recomendada para suelos de pH neutro y ácido es la Urea. Es una excelente fuente para el aporte de Nitrógeno siempre y cuando se incorpore adecuadamente a fin de reducir las pérdidas por volatilización amoniacal.
- * Las fuentes para suministrar Potasio dependen del cultivo a establecer y del pH del suelo. Para cultivos extensivos la fuente más económica y recomendada es el Cloruro de Potasio granulado (KCl), de reacción neutra. Se recomienda aplicar 50 % a la siembra y 50 % en un segundo evento.
- * Es importante que las fuentes de fertilizante a utilizar sean compatibles para conformar la mezcla física, utilizando ya sea fuentes granuladas para suministrar los tres elementos NPK o grado pilado. Evite mezclar fertilizantes granulados con pilados para no provocar la segregación de las fuentes.
- * Cuando el nivel de Magnesio es bajo, se recomienda aplicarlo de fondo al suelo en forma de Sulfato Doble de Potasio y Magnesio (K-Mag) o Sulfato de Magnesio.

Micronutrientes

- * Las aplicaciones foliares de Fe, Cu, Zn, Mn y B se recomiendan realizarlas por las mañanas o tardes, ya que en horas de mayor calor pueden causar quemaduras si se sobrepasa la dosis recomendada. Esta situación siempre es variante en cuanto al cultivo y estado de desarrollo, por eso se recomienda realizar pruebas cuando se aplique por primera vez a un cultivo. Cuando se usan fertilizantes foliares se recomienda usar en la mezcla ácidos Húmicos y Fúlvicos.
- * En el mercado existe una gama muy extensa de productos comerciales que contienen ya sea micronutrientes en forma individual o conjunta, los cuales también pueden tener buena efectividad.
- * La fuente ideal para aportar Boro al suelo es el Boronat. Es indispensable seguir la dosis recomendada, pues es el micronutriente que en aplicación excesiva puede causar toxicidad. La aplicación en banda aumenta su eficiencia, pero siempre hay que tener especial cuidado de no aplicarlo muy cerca de la línea de siembra.
- * Las fuentes de Boro por la vía foliar pueden ser Solubor o una gran variedad de productos a base de Boro que existen en el mercado. Se aplica a dosis que no sobrepasen el 0.3 a 0.5 % en base al producto, hay que recordar que una sobredosisificación rápidamente puede generar toxicidad.

Fertislab garantiza únicamente los resultados de la muestra de suelo como fue recibida en el laboratorio, por lo que se descarta cualquier manipulación previa a su recepción. Este documento es un informe preliminar y no debe ser utilizado para tomar decisiones de manejo. El cliente recibe 10 días hábiles para recibir y presentar cualquier duda o reclamo. El tiempo de respuesta para pruebas de suelo es de 14 días hábiles para primer acercamiento que cubra todo el cliente y no hay que pagar por el análisis de laboratorio o investigación de campo. El cliente debe recibir la muestra de suelo 10 días hábiles después de la entrega de resultados. El cliente puede solicitar la devolución de su muestra de muestra y deberá enviar la guía para devolución antes del tiempo de entrega. FERTISLAB se hace responsable de la integridad de la muestra recibida en sus instalaciones.



FERTILIDAD DE SUELOS S. DE RL.
Poniente 6 No. 200, Ciudad Industrial, Celaya, Gto. C.P. 38010
www.fertilab.com.mx

Laboratorio de Análisis de Suelos y Nutrición



INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS

FOLIO: SU-240109

- 1 Parámetro no acreditado.
- 2 Resultado reportado de acuerdo al método determinación de bases intercambiables (Ca, Mg, Na, K) en suelo por extracción con acetato de amonio por ICP-PLASMA. Método interno MET-SU-45
- 3 Resultado reportado de acuerdo al método determinación de micronutrientes (Cu, Fe, Mn, Zn) en suelo por extracción con DTPA y Sorbitol por ICP-PLASMA. Método interno MET-SU-46
- 4 Escala de interpretación de acuerdo al manual de interpretación de análisis de suelos y aguas con ISBN 03-2015-042709572100-01.
- 5 Parámetro tercerizado

Interpretación Resumida del Diagnóstico de la Fertilidad del Suelo

Suelo con pH tendiente a la neutralidad Suelo de textura media. Libre de carbonatos. Libre de sales. Muy alto suministro de fósforo disponible, muy bajo contenido de azufre.

En cuanto a la disponibilidad de micronutrientes: Alto nivel de manganeso. Muy pobre en boro.

Anexo 1: Límites de Detección y Límites de Cuantificación para Micronutrientes y Macronutrientes.

Parámetro	Ca	Mg	Na	K	Cu	Fe	Mn	Zn
LD mg/kg	21.8	8.6	4.5	4.5	0.02	0.23	0.19	0.06
LC mg/kg	500.0	50.0	25.0	50.0	0.10	0.75	0.75	0.25

Parámetro	Al	Ba	Co	Ce	Cr	Ni	As
LC mg/kg	50.00	25.00	1.50	1.50	15.00	12.50	2.50

Revisor

Ing. Jessica Yolanda Ceballos

Signatario

Aprobado

MC David Maldonado Romero

Jefe de laboratorio

Revisor

Ing. Brenda Salazar Ramírez

Signatario

Fertilab garantiza únicamente los resultados de la muestra(s) tal como fue recibida en el laboratorio, por lo que no asumirá de toda responsabilidad por los resultados.
Este documento es exclusivo, protegido y registrado ante el Instituto Mexicano de Propiedad Industrial; queda prohibida su reproducción total o parcial sin la autorización de FERTILIDAD DE SUELOS S. DE RL.
El cliente acepta 15 días naturales para reclamar y presentar dudas o dudas sobre el servicio.
El tiempo de respuesta para queries o dudas será de máximo 24 horas para queries administrativas. Fertilab tiene con el cliente y garantiza que para está trabajando e investigando en su query.
El cliente de mantenerse en contacto 15 días hábiles después de la entrega de resultados. El cliente puede solicitar la devolución de su muestra de seguimiento y deberá enviar la guía para devolución antes del tiempo de entrega. FERTILAB se hace responsable de la integridad de la muestra después de enviarnos al laboratorio.
Página 6

7.3 ANEXO C. Penetrómetro usado

CE	DECLARATION OF CONFORMITY Spectrum Technologies, Inc. 3600 Thayer Court Aurora, IL 60504 USA
Model Numbers:	6110FS
Description:	Soil compaction meter
Type:	Electrical Equipment for Measurement, Control, and Laboratory Use
The undersigned hereby declares, on behalf of Spectrum Technologies, Inc. of Plainfield, Illinois, USA, that the above referenced product, to which this declaration relates, is in conformity with the provisions of:	
Directive:	2004/108/EC
Standards:	EN 61326-1:2006 EN 61000-4-2:1995, including A1:1998 and A2:2001 EN 61000-4-3:2002 EN 55011:2007
<i>Doug Kieffer</i> Douglas L. Kieffer, Soil/Water Products Manager	
February 27, 2009	

FIELD SCOUT[®]

SC 900

Soil Compaction Meter

PRODUCT MANUAL

Item # 6110FS

Spectrum[®]
Technologies, Inc.

3600 Thayer Court
Aurora, IL 60504
(800) 248-8873 or (815) 436-4440
Fax (815) 436-4460
E-Mail: info@specmeters.com
www.specmeters.com



Spectrum[®]
Technologies, Inc.

7.4 ANEXO D. Valores de peso húmedo y peso seco de muestras tomadas en el sitio después de la cosecha

Cuadro 8. 3 Valores de peso húmedo de todas las muestras después de la cosecha

Peso húmedo de muestras (g)			
	P10	P20	P30
M1	312	329	307
M2	308	345	338
M3	323	336	329
M4	321	335	354
M5	319	336	320
M6	324	334	326
M7	322	341	348
M8	330	350	321
M9	330	336	353
M10	346	352	348
Promedio	323.5	339.4	334.4

Cuadro 8. 4 Valores de peso seco de todas las muestras después de la cosecha

Peso seco de muestras (g)			
	P10	P20	P30
M1	274	287	258
M2	270	301	293
M3	287	292	279
M4	288	295	307
M5	284	293	278
M6	290	291	280
M7	285	295	301
M8	297	310	280
M9	295	297	307
M10	309	308	299
Promedio	287.9	296.9	288.2

7.5 ANEXO E. Paquetes tecnológicos INIFAP.

Cuadro 8. 5 Paquete tecnológico de T1: Arado reversible de tres discos + un paso cruzado de rastra de levante de 20 discos

Concepto	Costo \$
Preparación del suelo	\$4737.50
Arado reversible de tres discos	\$ 2,000.00
Un paso cruzado de rastra de levante de 20 discos	\$ 1,800.00
Consumo de combustible l/ha. 37.5l (\$25.00/l)	\$ 937.50
Control de maleza	\$2,320.00
Poderio(Glufosinato de amonio): tres litros	\$ 480.00
Aplicación dos jornales	\$ 500.00
Atrazin (Atrazina): tres kilogramos	\$ 840.00
Aplicación dos jornales	\$ 500.00
Siembra	\$ 2,700.00
Semilla: 20 kg Híbrido H-520	\$ 1,200.00
Siembra y 1ª. Fertilización simultánea utilizando sembradora	\$ 1,500.00
Fertilización	\$ 6,650.00
Dosis:179-46-30	
Urea:350 kg (150 kg en la primera y 200 kg en la segunda fertilización)	\$ 4,200.00
DAP:100 kg (aplicado en la primera fertilización junto con la urea)	\$ 1,600.00
Aplicación de segunda fertilización manual (tres jornales) a los 28 días después de la emergencia	\$ 750.00
Control de plagas	\$1,412.50
Semevin: 0.500 ml	\$ 350.00
Aplicación (dos jornales)	\$ 500.00

Arrivo:0.250 ml	\$ 62.50
Aplicación jornales	\$ 500.00
Otras operaciones de suelo	\$ 2,000.00
Cultivo a los 15 días después de la emergencia	\$ 1,000.00
Atierre a los 30 días después de la siembra	\$ 1,000.00
Cosecha	\$ 4,000.00
Dobla: cuatro jornales	\$ 1,000.00
Pizca: ocho jornales	\$ 2,000.00
Desgrane	\$ 1,000.00
Costo total del cultivo	\$ 23,820.00
Rendimiento promedio t/ha	17.92
Precio de venta por kg de forraje	\$1.70
Ingreso bruto	\$ 30,464
Relación B/C	1.28

Cuadro 8. 6 Paquete tecnológico de T2: Arado de cinceles MF + un paso cruzado de rastra de levante de 20 discos

Concepto	Costo \$
Preparación del suelo	\$3,912.50
Arado M. F	\$ 1500.00
Un paso cruzado de rastra de levante de 20 discos	\$ 1,800.00
Consumo de combustible l/ha. 24.5L (\$25.00/l)	\$ 612.50
Control de maleza	\$2,320.00
Poderio (Glufosinato de amonio): tres litros	\$ 480.00
Aplicación dos jornales	\$ 500.00
Atrazin (Atrazina): tres kilogramos	\$ 840.00
Aplicación dos jornales	\$ 500.00
Siembra	\$ 2,700.00
Semilla: 20 kg Híbrido H-520	\$ 1,200.00
Siembra y 1ª. Fertilización simultánea utilizando sembradora	\$ 1,500.00
Fertilización	\$ 6,650.00
Dosis:179-46-30	
Urea:350 kg (150 kg en la primera y 200 kg en la segunda fertilización)	\$ 4,200.00
DAP:100 kg (aplicado en la primera fertilización junto con la urea)	\$ 1,600.00
Aplicación de segunda fertilización manual (tres jornales) a los 28 días después de la emergencia	\$ 750.00
Control de plagas	\$1,412.50
Semevin: 0.500 ml	\$ 350.00
Aplicación (dos jornales)	\$ 500.00
Arrivo:0.250 ml	\$ 62.50
Aplicación jornales	\$ 500.00

Otras operaciones de suelo	\$ 2,000.00
Cultivo a los 15 días después de la emergencia	\$ 1,000.00
Atierre a los 30 días después de la siembra	\$ 1,000.00
Cosecha	\$ 4,000.00
Dobla: cuatro jornales	\$ 1,000.00
Pizca: ocho jornales	\$ 2,000.00
Desgrane	\$ 1,000.00
Costo total del cultivo	\$ 22,995.00
Rendimiento promedio t/ha	18.065
Precio de venta por kg de forraje	\$1.70
Ingreso bruto	\$ 30710.5
Relación B/C	1.33

Cuadro 8. 7 Paquete tecnológico de T3: Arado PVPC (Parámetros verticales y profundidad crítica) + un paso cruzado de rastra de levante de 20 discos

Concepto	Costo \$
Preparación del suelo	\$3,925.00
Arado PVPC	\$ 1,500.00
Un paso cruzado de rastra de levante de 20 discos	\$ 1,800.00
Consumo de combustible l/ha. 25L (\$25.00/l)	\$ 625.00
Control de maleza	\$2,320.00
Poderio(Glufosinato de amonio): tres litros	\$ 480.00
Aplicación dos jornales	\$ 500.00
Atrazin (Atrazina): tres kilogramos	\$ 840.00
Aplicación dos jornales	\$ 500.00
Siembra	\$ 2,700.00
Semilla: 20 kg Híbrido H-520	\$ 1,200.00
Siembra y 1ª. Fertilización simultanea utilizando sembradora	\$ 1,500.00
Fertilización	\$ 6,650.00
Dosis:179-46-30	
Urea:350 kg (150 kg en la primera y 200 kg en la segunda fertilización)	\$ 4,200.00
DAP:100 kg (aplicado en la primera fertilización junto con la urea)	\$ 1,600.00
Aplicación de segunda fertilización manual (tres jornales) a los 28 días después de la emergencia	\$ 750.00
Control de plagas	\$1,412.50
Semevin: 0.500 ml	\$ 350.00
Aplicación (dos jornales)	\$ 500.00
Arrivo:0.250 ml	\$ 62.50
Aplicación jornales	\$ 500.00

Otras operaciones de suelo	\$ 2,000.00
Cultivo a los 15 días después de la emergencia	\$ 1,000.00
Atierre a los 30 días después de la siembra	\$ 1,000.00
Cosecha	\$ 4,000.00
Dobla: cuatro jornales	\$ 1,000.00
Pizca: ocho jornales	\$ 2,000.00
Desgrane	\$ 1,000.00
Costo total del cultivo	\$ 23,007.50
Rendimiento promedio t/ha	20.87
Precio de venta por kg de forraje	\$1.70
Ingreso bruto	\$ 35479
Relación B/C	1.54

Cuadro 8. 8 Paquete tecnológico de T4: Equipo Multipropósito

Concepto	Costo \$
Preparación del suelo	\$2,250.00
Multipropósito	\$ 2,000.00
Consumo de combustible l/ha. 10L (\$25.00/l)	\$ 250.00
Control de maleza	\$2,320.00
Poderio(Glufosinato de amonio): tres litros	\$ 480.00
Aplicación dos jornales	\$ 500.00
Atrazin (Atrazina): tres kilogramos	\$ 840.00
Aplicación dos jornales	\$ 500.00
Siembra	\$ 2,700.00
Semilla: 20 kg Híbrido H-520	\$ 1,200.00
Siembra y 1ª. Fertilización simultanea utilizando sembradora	\$ 1,500.00
Fertilización	\$ 6,650.00
Dosis:179-46-30	
Urea:350 kg (150 kg en la primera y 200 kg en la segunda fertilización)	\$ 4,200.00
DAP:100 kg (aplicado en la primera fertilización junto con la urea)	\$ 1,600.00
Aplicación de segunda fertilización manual (tres jornales) a los 28 días después de la emergencia	\$ 750.00
Control de plagas	\$1,412.50
Semevin: 0.500 ml	\$ 350.00
Aplicación (dos jornales)	\$ 500.00
Arrivo:0.250 ml	\$ 62.50
Aplicación jornales	\$ 500.00

Otras operaciones de suelo	\$ 2,000.00
Cultivo a los 15 días después de la emergencia	\$ 1,000.00
Atierre a los 30 días después de la siembra	\$ 1,000.00
Cosecha	\$ 4,000.00
Dobla: cuatro jornales	\$ 1,000.00
Pizca: ocho jornales	\$ 2,000.00
Desgrane	\$ 1,000.00
Costo total del cultivo	\$ 21,332.50
Rendimiento promedio t/ha	20.68
Precio de venta por kg de forraje	\$1.70
Ingreso bruto	\$ 35156
Relación B/C	1.65

Cuadro 8. 9 Paquete tecnológico de T5: Rastra de Tiro de 32 discos

Concepto	Costo \$
Preparación del suelo	\$2,262.50
Paso cruzado de rastra de tiro	\$ 1,800.00
Consumo de combustible l/ha. 18.5 (\$25.00/l)	\$ 462.50
Control de maleza	\$2,320.00
Poderio (Glufosinato de amonio): tres litros	\$ 480.00
Aplicación dos jornales	\$ 500.00
Atrazin (Atrazina): tres kilogramos	\$ 840.00
Aplicación dos jornales	\$ 500.00
Siembra	\$ 2,700.00
Semilla: 20 kg Híbrido H-520	\$ 1,200.00
Siembra y 1ª. Fertilización simultánea utilizando sembradora	\$ 1,500.00
Fertilización	\$ 6,650.00
Dosis:179-46-30	
Urea:350 kg (150 kg en la primera y 200 kg en la segunda fertilización)	\$ 4,200.00
DAP:100 kg (aplicado en la primera fertilización junto con la urea)	\$ 1,600.00
Aplicación de segunda fertilización manual (tres jornales) a los 28 días después de la emergencia	\$ 750.00
Control de plagas	\$1,412.50
Semevin: 0.500 ml	\$ 350.00
Aplicación (dos jornales)	\$ 500.00
Arrivo:0.250 ml	\$ 62.50
Aplicación jornales	\$ 500.00

Otras operaciones de suelo	\$ 2,000.00
Cultivo a los 15 días después de la emergencia	\$ 1,000.00
Atierre a los 30 días después de la siembra	\$ 1,000.00
Cosecha	\$ 4,000.00
Dobla: cuatro jornales	\$ 1,000.00
Pizca: ocho jornales	\$ 2,000.00
Desgrane	\$ 1,000.00
Costo total del cultivo	\$ 21,345.00
Rendimiento promedio t/ha	21.56
Precio de venta por kg de forraje	\$1.70
Ingreso bruto	\$ 36652.00
Relación B/C	1.72