

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA



**Eficiencia de trabajo con piloto automático y sembradora de
precisión**

Por:

IVÁN DÍAZ LÓPEZ

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

Eficiencia de trabajo con piloto automático y sembradora de
precisión

Por:

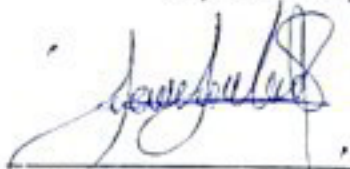
IVÁN DÍAZ LÓPEZ

TESIS


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

INGENIERO MECÁNICO AGRÍCOLA

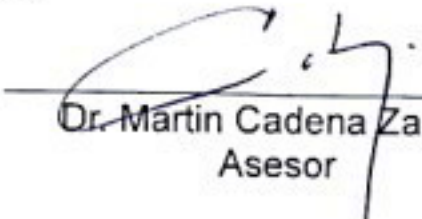
Aprobada por:



MC. Gilbert Fresh López López
Asesor principal



MC. Juan Antonio López López
Asesor



Dr. Martín Cadena Zapata
Asesor



MC. Sergio Sánchez Martínez
Coordinador de la División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre de 2025

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la fuerza espiritual para nunca rendirme y seguir adelante para lograr este objetivo.

Quiero agradecer a mi familia por siempre apoyarme y alentarme a seguir adelante.

Agradezco a mi novia por siempre mostrarme su apoyo.

Quiero agradecer a los papás de mi novia por orientarme siempre y mostrarme su apoyo.

A mis ex compañeros de cuarto por orientarme en mi llegada a la Universidad.

A mi asesor de tesis el MC. Gilbert Fresh López López, por el apoyo mostrado durante la realización de este proyecto, así como todas las enseñanzas recibidas durante la carrera.

Agradezco a mis profesores, por los consejos y el apoyo brindado durante la carrera.

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo a una de las personas importantes en mi vida, que conocí en mi estancia universitaria, a mi novia Thayli Paola Velázquez Hernández, por darme su apoyo incondicional, porque aparte de novios fuimos compañeros de carrera, por estar presente en los momentos en que sentí que no podía continuar, por ayudarme a superar el temor a lo desconocido, por brindarme tu apoyo incondicional en mi crecimiento personal y por impulsarme a enfrentar con valentía cada desafío, por complejo que fuera.

Quiero dedicar mi trabajo de tesis a mis padres Iván Díaz Castro y Rufina López Arango por ser los mejores padres, siempre mostrarme su apoyo, alentarme a nunca rendirme desde el principio de este gran proyecto, pero sobre todo por siempre creer en mí.

Dedico este trabajo a mis abuelos, Antonio Díaz Castorena y Herlinda Castro Guerrero, quienes han sido una guía invaluable en mi vida. Agradezco profundamente su fe en mí, su apoyo constante, sus enseñanzas, historias y consejos que han marcado mi camino. Por ser como unos segundos padres y, sobre todo, por inculcarme que el esfuerzo y la dedicación siempre traen consigo grandes recompensas.

A mis hermanas, Jazmín Díaz López, Yoltzin Díaz López e Ivanna Díaz López por apoyarme en momentos difíciles, mostrarme que todos los días se puede aprender algo nuevo, por darle un gran significado a la palabra hermano.

A mis tíos y tía Nohemí Díaz, Antonio Díaz Y Esteban Díaz por ser un ejemplo de profesionistas, siempre darme consejos de superación y guiarme a seguir estudiando.

Por ultimo y no menos importante se lo dedico a los papás de mi novia, Arvey Velázquez Santos y Mayra Hernández Gómez por adoptarme como un hijo más, por sus consejos dados, los regaños, la confianza puesta en mí, pero sobre todo por ser como mis padres cuando ellos estuvieron lejos, por hacerme sentir que estaba en mi casa.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general	2
1.2 Objetivos específicos:	2
1.3 Hipótesis	2
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Degradación de suelo	3
2.1.1 Degradación del suelo a nivel mundial.....	3
2.1.2 Degradación del suelo a nivel nacional.....	3
2.1.3 Degradación del suelo a nivel regional	4
2.2 Antecedentes de maíz.....	6
2.3 Superficie de siembra de maíz en México	7
2.4 Tipos de siembra de maíz y efectividad	8
2.5 Conservación de suelos.....	10
2.6 Agricultura de precisión	11
2.7 Uso de piloto automático en la siembra	13
2.8 Siembra tradicional	13
2.9 Administración de mecanización agrícola	14
2.10 Sistemas de labranza.....	15
2.11 Antecedentes del proyecto	16
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	18
3.1 Preparación del terreno.....	19
3.2 Planificación de siembra	20
3.3 Análisis de datos	20
3.4 Análisis estadístico.....	21
CAPÍTULO IV RESULTADOS	23
4.1 Eficiencias de trabajo (anchos de labor)	24
4.2 Análisis de varianza de la eficiencia de trabajo (anchos de labor)	25
CAPÍTULO V DISCUSIONES	30
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	32
REFERENCIAS.....	33

ÍNDICE DE MAPAS Y FIGURAS

Figura 2.1 Tipos de degradación de suelo a nivel nacional.....	4
Figura 2.2 Niveles de degradación de suelo en Coahuila	5
Figura 2.3 Disposición de semillas siembra convencional contra surcos en doble fila...9	
Figura 3.1 a) Área de siembra 1(sistemas de labranza) y b)Área de siembra 2(Labranza tradicional).	19
Figura 4.1 Diagrama de cajas de la población del cultivo.....	23
Figura 4.2 Eficiencia de trabajo con diferentes sistemas de labranza	24
Figura 4.3 Comparación múltiple de medias método Tukey	26
Figura 4.4 Comparación múltiple de medias método Fisher.....	27
Figura 4.5 Bloques del experimento representado por las repeticiones.....	28
Figura 4.6 Comparación múltiple de medias método Tukey para bloques.....	28

ÍNDICE DE TABLAS Y CUADROS

Tabla 2.1 Variación espacio-temporal en cultivos	11
Tabla 2.2 Tecnologías asociadas a la AP	12
Cuadro 4.1 Eficiencia de ancho de trabajo en sistemas de labranza.....	25
Cuadro 4.2 Eficiencia de trabajo en sistemas de labranza	25
Cuadro 4.3 Resultados de la eficiencia en ancho de trabajo	29

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las labores de labranza generan una alta demanda económica Smith (2020) y Gómez (2018), han señalado que el uso intensivo de maquinaria y combustibles en actividades agrícolas tradicionales contribuye significativamente a los costos de producción, además de tener un impacto ambiental considerable.

Paralelamente, el crecimiento poblacional proyectado para las próximas décadas, respaldado por datos de la ONU (2022), impone una demanda cada vez mayor sobre los recursos alimentarios. Esto se traduce en una necesidad de incrementar la productividad agrícola mediante la expansión de la superficie cultivada y la intensificación del uso de recursos en las áreas existentes. Sin embargo, esta expansión se ve restringida por la rápida urbanización y la reducción de zonas agrícolas, lo cual obliga a optimizar la utilización de los terrenos agrícolas disponibles para mantener niveles de producción adecuados, sostenibles y competitivos.

En este contexto, la adopción de tecnologías en la agricultura se presenta como una estrategia fundamental para enfrentar estos desafíos. La integración de sistemas automatizados, como el piloto automático y las sembradoras de precisión, permite una mayor precisión en las labores agrícolas, optimizando el uso de insumos y reduciendo significativamente el consumo de combustibles. Estas tecnologías facilitan la ejecución las actividades agrícolas con una menor variabilidad en la aplicación, lo que resulta en una reducción de costos operativos y un aprovechamiento más eficiente de las áreas cultivables.

Asimismo, la implementación de estos sistemas contribuye a disminuir la huella ambiental de la agricultura, al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de recursos no renovables. La adopción de la agricultura de precisión, mediante el uso de sistemas de piloto automático y sembradoras de precisión, dan como resultado una solución tecnológica que no solo mejora la eficiencia productiva, sino que también promueve prácticas

agrícolas más sostenibles, alineadas con los objetivos de desarrollo sustentable y resiliencia ante el cambio climático.

1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto de diferentes sistemas de labranza y del uso de piloto automático sobre el ancho de trabajo durante la siembra de maíz forrajero, con el fin de determinar su impacto en la eficiencia operativa y el aprovechamiento del terreno.

1.2 Objetivos específicos:

Analizar y comparar el desempeño del ancho de trabajo bajo condiciones de labranza tradicional y tecnificada, tanto con y sin asistencia de piloto automático, para identificar las variaciones en precisión, uniformidad y eficiencia en la siembra.

1.3 Hipótesis

La eficiencia de trabajo en siembra se incrementa utilizando la tecnología de piloto automático bajo diferentes sistemas de labranza.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Degradación de suelo

2.1.1 Degradación del suelo a nivel mundial

La expansión acelerada y la gestión inadecuada de las tierras de cultivo y pastoreo constituyen el factor directo global de degradación del suelo más amplio, provocando la pérdida considerable de la diversidad biológica de los ecosistemas, la seguridad alimentaria, la purificación del agua, la provisión de energía y otras aportaciones de la naturaleza que son indispensables para los seres humanos (Ipbes, 2018).

Hasta el 95 % de la producción mundial de alimentos depende del suelo. No obstante, las actividades agrícolas no sustentables, la explotación excesiva de los recursos naturales y el aumento de la población están generando un incremento en la presión sobre nuestros terrenos. Una tercera parte de la tierra ya está degradada, y los expertos calculan que la erosión del suelo podría conllevar una reducción del 10 % en la producción de cultivos de aquí a 2050. (FAO, 2022).

La erosión del suelo representa la amenaza predominante. Se estima que en el periodo comprendido entre ahora y 2050, podría ocasionar una disminución del 10% en la producción de cultivos y la pérdida de 75 000 millones de toneladas de terreno.

2.1.2 Degradación del suelo a nivel nacional

La degradación de los terrenos es consecuencia de actividades humanas de diversas índoles. En México, los cambios más relevantes son los relacionados con la agricultura mecanizada, el sobrepastoreo y el crecimiento urbano e industrial. (SEMARNAT, 2015).

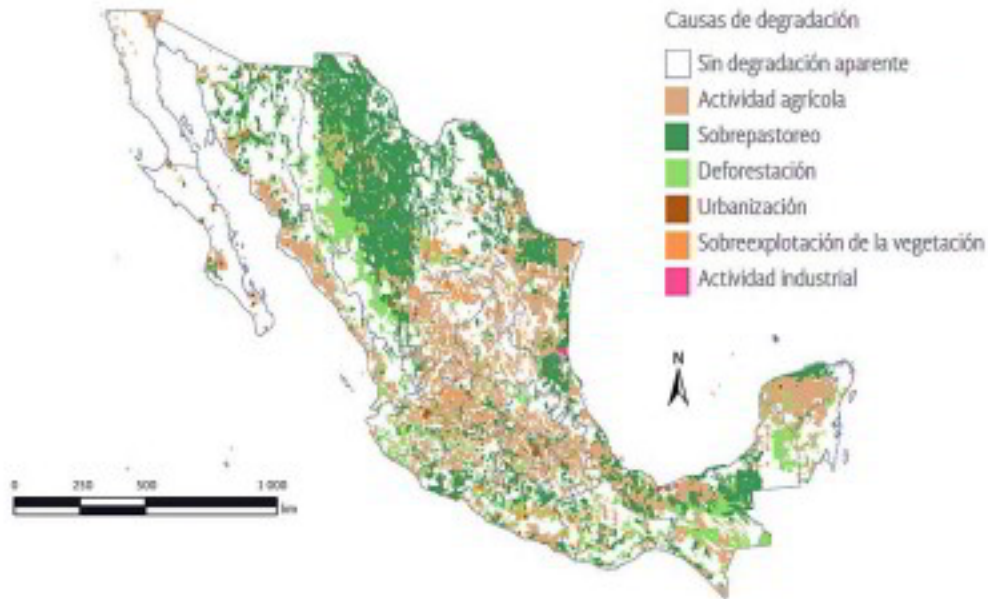


Figura 2.1 Tipos de degradación de suelo a nivel nacional.

Como se puede apreciar en la Figura 2.1, la degradación del suelo que más impacta en la nación es el resultado del sobrepastoreo y las actividades agrícolas. Esta última tiene el mayor impacto sobre el suelo, tal como se puede observar en el mapa.

Específicamente para México, las áreas urbanas y los asentamientos humanos abarcan aproximadamente 1.85 millones de hectáreas (INEGI, 2013). Aproximadamente el 77.4% de la superficie nacional en estado de degradación estaba vinculado con actividades agrícolas y pecuarias (38.7% cada una de ellas), mientras que el 16.4% se atribuye a la deforestación y la remoción de la vegetación. El resto de la superficie deteriorada del país, que abarca aproximadamente 5.3 millones de ha; constituyendo el 6.1% de la superficie total degradada, se atribuye a la urbanización, la sobreexplotación de la vegetación y las actividades industriales (SEMARNAT, 2015).

2.1.3 Degradación del suelo a nivel regional

Conforme a la información proporcionada por la SEMARNAT en el estado, los suelos exhiben diversos grados de degradación. El grado 1, que corresponde a suelos sin o escasa degradación, se encuentra predominantemente en los municipios del norte del estado y en pequeñas áreas en el resto del estado. El grado 4, que indica suelos bastante degradados, se encuentra en zonas que se

han utilizado principalmente para la agricultura (Secretaria del Medio Ambiente Coahuila, 2022).

del Medio Ambiente Coahuila, 2022). El complicado fenómeno denominado degradación ambiental conlleva la disminución de los recursos naturales, se evidencia como El suelo es uno de los recursos que se ven más afectados por la degradación, manifestándose como una pérdida de calidad que afecta al potencial biológico y a la productividad del conjunto del sistema natural. Esto es evidente en la figura 2.2, la cual ilustra los niveles de degradación que presenta el suelo. La erosión se refiere al desplazamiento de partículas que conforman el suelo debido a la acción del agua en movimiento o al viento. Otros factores naturales que afectan la magnitud de la erosión incluyen el clima (precipitaciones), el terreno (pendiente), la vegetación y el suelo (edafología) (Secretaria del Medio Ambiente Coahuila).

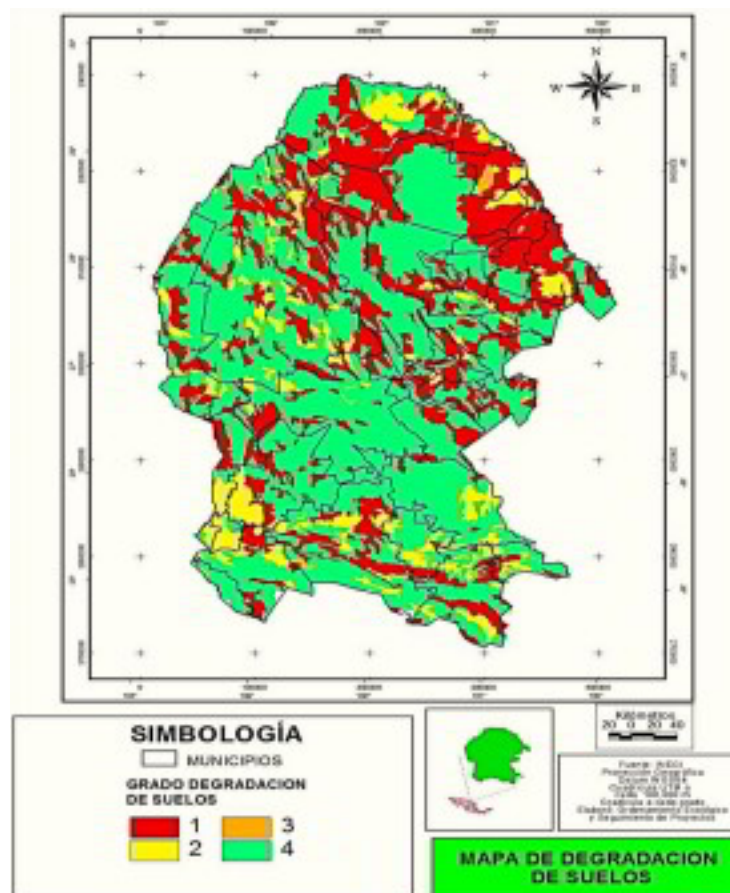


Figura 2.2 Niveles de degradación de suelo en Coahuila.

2.2 Antecedentes de maíz

Se estima que el cultivo del maíz se llevó a cabo hace aproximadamente 10 mil años antes de Cristo. La evidencia más antigua se encuentra en la caverna de Guila Naquitz, situada en Oaxaca, a unos kilómetros de Mitla.

La denominación científica de este cereal es *Zea Mays*, y los nahuas de Mesoamérica lo denominaban Centli. Durante su expansión por América, adquirió denominaciones como choclo, jojoto, cereal, milho o elote y maíz con la llegada de los españoles mediante la modificación fonética de mahís.

Se estima que en México se encuentra la mayor diversidad de variedades de maíz; blanco, azul, gordo, dulce, chiquito, bofo, vendeño, conejo, dulcillo del Noroeste, chapalote y amarillo, son algunas de las más de 60 variedades de maíces que integran nuestra alimentación cotidiana. Además, en la actualidad se emplea como forraje para la gandería.

El maíz es el cultivo más importante de México. Además de su constante presencia en las comidas de las familias mexicanas, la planta también se destaca como un excelente forraje para el ganado, particularmente para las vacas lecheras y los acinos. Se aprovecha como alimento ganadero en varias etapas del crecimiento de la planta. (Maiz forrajero, 2024).

Es una planta de apariencia sólida y presenta un tallo único de larga longitud, sin ramas, que puede llegar a tener hasta 4 m de alto. Al hacerle un corte presenta una médula esponjosa. Las hojas de origen masculino son un espigón o penacho amarillo capaz de guardar entre 20 y 25 millones de granos de polen, en contraste con las de origen femenino que puede almacenar hasta mil, y se desarrollan en estructuras vegetales conocidas como espádices. Las hojas son largas y extensas, con terminación en forma de lanza, de extremos cortantes y con vellosidades en la parte superior. (SIAP, 2016).

Para su instalación, necesita suelos con una fertilidad intermedia. Asimismo, se desarrolla en suelos infértiles con un pH entre 5.5 y 7.0. El rango de alturas oscila entre 0 y 2600 metros sobre el nivel del mar, con una precipitación anual que oscila entre 800 y 1,500 mm. Se desarrolla en zonas de altas temperaturas 13 – 27 °C siendo susceptible a heladas y presenta una alta exigencia de luz. (Info pastos y forrajes, 2025).

2.3 Superficie de siembra de maíz en México

El maíz constituye el cultivo agrícola de mayor relevancia en nuestra nación, desde una perspectiva alimentaria, industrial, política y sociedad.

Se cultivan principalmente dos tipos de maíz: blanco y amarillo. El maíz blanco se produce exclusivamente para el consumo humano, en virtud de su alto contenido nutricional. El maíz amarillo se usa para la industria y para alimentar animales. Ambos son producidos. Ambos se generan durante dos ciclos productivos: la primavera-verano (PV) y el otoño-invierno (OI), bajo las más variadas condiciones agroclimáticas (humedad, temporal y riego) y diversas tecnologías. (SADER, 2020).

En México, la producción anual de maíz blanco supera los 27 millones de toneladas en una superficie superior a 7 millones de hectáreas, mientras que la producción de maíz amarillo supera los 15 millones de toneladas en una superficie de 553 mil hectáreas. (SADER, 2020).

En la actualidad, se llevan a cabo riadas para la producción de maíz amarillo, enfocándose en la ganadería y la industria, con la finalidad de incrementar la competitividad del agricultor y aumentar la producción del país. Del maíz amarillo se obtiene un rendimiento promedio de 9.5 toneladas por hectárea, mientras que del maíz blanco se obtienen 11 toneladas. Con el 88.3% de participación...

El maíz representa el 88.3% de la producción nacional de granos y ocupa la mayor área de siembra. Se producen aproximadamente 27 millones de toneladas de maíz cada año, lo que coloca a México como el octavo productor a nivel mundial. Sin embargo, en los países que producen mayor cantidad de maíz, el rendimiento supera las 10 toneladas por hectárea (t/ha). Por ejemplo, en Estados Unidos se alcanza 11.9 t ha⁻¹, mientras que en México se sitúa en aproximadamente 3.4 t ha⁻¹ (CIMMYT, 2021).

Los pequeños productores generan cerca del 60 % de la producción nacional. Si se agregan los medianos productores (que cultivan hasta 10 t ha⁻¹), juntos representan el 91 % del área sembrada. Esto implica que, en conjunto, contribuyen aproximadamente al 75 % de la producción nacional de maíz. (SADER, 2020).

En 2019, el 84% de la superficie cultivada tuvo un rendimiento de maíz grano inferior a 5 toneladas por hectárea, siendo 14 millones 789 mil 348 toneladas de un total de 27 millones 228 mil 242 toneladas.

2.4 Tipos de siembra de maíz y efectividad

Se cultiva maíz para grano con una profundidad de entre 3 y 5 cm en surcos, y la distancia entre cada surco se ajusta dependiendo del equipo de cosecha, gustos regionales, y el tipo y uso final del maíz.

Maíz para grano se cultiva normalmente con una distancia entre los surcos de 50 a 120cm. Los espacios más reducidos permiten que las plantas optimicen la humedad, los nutrientes y la luz en una fase más temprana, gracias a la ampliación del espacio entre cada planta en el surco. (Yara, 2025).

En regiones templadas, el maíz forrajero se cultiva con una densidad que oscila entre 90,000 y 110,000 semillas por hectárea. Las plantaciones más óptimas se obtienen a una altitud baja y en campos que proporcionan sol.

El método de surcos apareados o en doble fila, originado en Estados Unidos, posibilita incrementar la densidad de las plantas de maíz sin afectar el desarrollo de las raíces y el crecimiento de las mismas. (Álvarez, 2025). (Álvarez, 2025).

Para lograrlo, se divide la población de plantas con un surco en dos surcos, con una separación de aproximadamente 22 cm entre las líneas apareadas, y una separación de aproximadamente 27 cm entre las plantas. La disposición de las semillas se realiza en forma de zigzag, también denominado tresboles. La distancia entre los centros de las líneas apareadas es aproximadamente de 0.72 metros.

Así, se consigue una mayor utilización de la superficie foliada, evitando simultáneamente la competencia por la luz solar. En otras palabras, en la siembra convencional, para incrementar la producción de 80,000 a 100,000 plantas por hectárea, la distancia entre los granos debería ser inferior a 14 centímetros, lo que contrastaría con el sistema radicular de una planta de rápida maduración con el de las plantas que la circundan. En cambio, mediante el sistema de líneas gemelas se consigue incrementar el espacio entre las plantas, reducir la competencia entre las mismas, y a la vez aumentar su densidad.

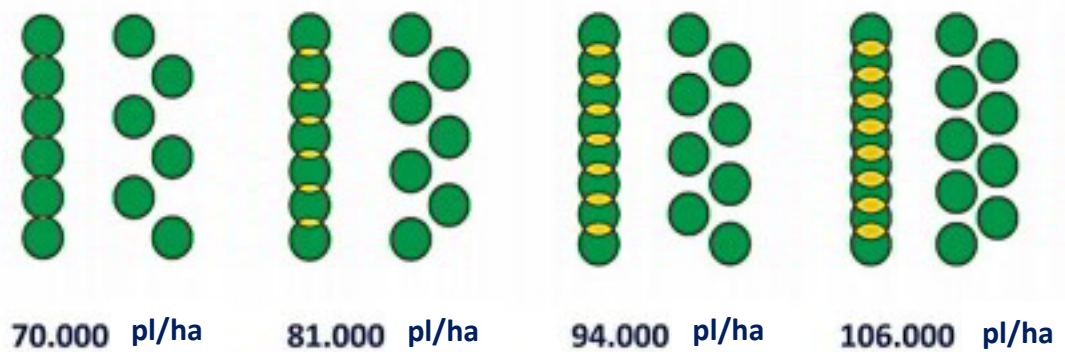


Figura 2.3 Disposición de semillas siembra convencional contra surcos en doble fila.

Ventajas de la siembra en doble fila:

- Las plantas cubren el 45% de la tierra cultivada, mientras que en el método tradicional ocupan un 14%.
- Incremento en el tamaño de la radiografía • Incremento en el crecimiento de la radiografía
- Reduce la evaporación del agua al poseer una mayor superficie cubierta por vegetación.
- Incremento en la superficie de captación de luz.
- Optimiza la resistencia a la caída gracias a un tallo 6% más ancho y una inserción de mazorca más reducida.

Inconvenientes:

- Desafío para llevar a cabo tratamientos fitosanitarios.
- Mayor probabilidad de padecer problemas de hongos.
- El aumento en la cantidad de lignina se debe a la mayor fortaleza del tronco.
- Resultados de mejora productiva muy variables, con gran influencia de la latitud, y mejores cosechas cuanto más al norte.

En resumen, este tipo de plantación necesita una fertilización apropiada, aproximadamente un 20% más que una siembra tradicional debido al incremento en el número de plantas. No obstante, un problema es que sus resultados son positivos en latitudes elevadas (> 40°) y tiene restricciones para tratamientos fitosanitarios.

2.5 Conservación de suelos

Los impactos derivados de la degradación de los suelos son numerosos. Esto incluye la reducción de la fertilidad del suelo, aumento de la acidez, salinidad y alcalinidad, deterioro de la estructura del suelo, erosión por viento y agua más rápida, y pérdida de materia orgánica y biodiversidad. (FAO, 2024).

Se están llevando a cabo medidas para restaurar la productividad de terrenos deteriorados, las cuales deben estar vinculadas con otras acciones que afectan las prácticas de gestión de tierras, en particular la agricultura de conservación, las buenas prácticas agrícolas y el manejo de riegos, así como el Manejo Integrado de Nutrición (FAO, 2024).

La preservación del suelo constituye un aspecto fundamental en la agricultura, particularmente en la agricultura ecológica. A través de una adecuada conservación del suelo, es posible no solo obtener un rendimiento óptimo en el campo en el presente, sino también en el futuro, sin la necesidad de recurrir a productos químicos. A pesar de que los impactos de la preservación del suelo pueden no ser evidentes a corto plazo, a largo plazo sí son significativos, ya que disminuyen la erosión, preservan la fertilidad y disminuyen la polución del entorno, lo que favorece la sostenibilidad ambiental. (Eos data analytics, 2021)

Las prácticas de conservación del suelo se basan en tres pasos básicos:

- Desarrollar una comprensión adecuada acerca del uso de los recursos del terreno.
- Es importante revisar los campos y señalar las zonas problemáticas.
- Analizar y calcular la efectividad de las estrategias de conservación del suelo implementadas, examinar y calcular la eficacia de las estrategias de preservación del suelo implementadas

Beneficios de la conservación del suelo:

- Amplie la calidad y la eficiencia en la producción del suelo.
- Promover la reducción de la erosión.
- Promueva la infiltración de agua y amplíe su capacidad de almacenamiento.
- Ayuda a limpiar el aire y el agua.

2.6 Agricultura de precisión

Se trata de un sistema utilizado para examinar y regular las fluctuaciones espaciales del terreno y el cultivo. La variación espacial incluye las variaciones en la fertilidad de diferentes áreas del terreno y las que ocurren durante el desarrollo de las plantas cultivadas. El cambio temporal incluye las variaciones notables en la producción de un mismo terreno entre una temporada y otra, tal como se muestra en la tabla 2.1. Todavía en áreas de escasa longitud, de una hectárea o menos, se presenta esta variación.

Tabla 2.1 Variación espacio temporal en cultivos. Fuente INCyTU, 2018

Tipo de variación	Sujeto de la variación	Factores involucrados
Espacial	Fertilidad del suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones fisicoquímicas (entre otras la acidez-alcalinidad o pH, y el contenido de nitrógeno o de metales). • Contenido de humedad, materia orgánica y contaminantes. • Conductividad eléctrica e hidráulica. • Textura, fuerza mecánica y profundidad. • Salinidad. • El relieve o topografía del terreno. • Microbiota y fauna del suelo.
	Desarrollo vegetal	<ul style="list-style-type: none"> • Maleza (plantas oportunistas). • Plagas (insectos, virus y microorganismos). • Características genéticas del cultivo (como la resistencia a la sequía y velocidad de desarrollo).
Temporal	Cosecha	<ul style="list-style-type: none"> • Variación productiva entre períodos de siembra distintos. • Condiciones climatológicas entre distintas temporadas.

La agricultura convencional sostiene que una superficie es homogénea y aplica los insumos con base en valores medios a lo largo de toda la superficie de siembra. Esto incrementa los costos de inversión y el impacto ambiental, como la contaminación del subsuelo. En la agricultura de precisión se emplean diversas cantidades de recursos y se valoran las necesidades específicas de cada sección del cultivo y su respuesta en tiempo real, reduce la utilización de productos agrícolas que se liberan al medio ambiente, como los pesticidas, hasta un 90%. (INCYTU, 2018).

La AP requiere de tres etapas, las cuales son:

1. El proceso de recolección de datos realizado con dispositivos especializados como satélites o sensores a distancia. El análisis a distancia.
2. El análisis de los datos. Un experto examina la información y proporciona recomendaciones para gestionar de manera apropiada la variación espacial y temporal detectada.
3. La implementación. El agricultor cultiva la parcela de acuerdo con las recomendaciones proporcionadas.

Existen cinco tecnologías vinculadas a la agricultura de precisión: los sistemas de posicionamiento global (conocidos por sus siglas en inglés como GPS) y de información geográfica (GIS), sensores a distancia, monitores de rendimiento y aplicaciones y maquinaria inteligente.

Tabla 2.2 Tecnologías asociadas a la AP. Fuente INCyTU, 2018

Tecnología	Ejemplos
GPS	Satélites NAVSTAR
GIS y software relacionado	ARC-INFO Agri-Logic Magellan Waypoint
Sensores remotos	Sensores de nitrógeno Agro Drone Satélites Landsat
Monitores de rendimiento y aplicación	AG Leader Green Star John Deere

2.7 Uso de piloto automático en la siembra

La mayor ventaja de usar el piloto automático en la agricultura es que ayuda a mantener la eficiencia, la productividad y la seguridad constantes durante toda la jornada. Es evidente que disminuye la fatiga del trabajador, facilitando que este centre su atención en otros aspectos relevantes de la tarea que está llevando a cabo cultivos más prolijos, que facilitan un mejor manejo durante sus ciclos, consiguiendo aplicaciones fitosanitarias y cosechas más eficientes. (Villarroel e (Villarroel et al., 2024).

En este ejercicio, el uso de pilotos automáticos mejora directamente la eficacia laboral, proporcionando al trabajador la oportunidad de ejercer mayor dominio sobre otros aspectos específicos, como la monitorización en pantalla del funcionamiento adecuado de la sembradora y el tractor permite prolongar las horas de trabajo hasta las primeras horas de la noche, donde sería inviable identificar la línea que deja el marcador, o también en circunstancias donde la cobertura del cultivo impide la visión de la línea del entresurco. (Villarroel et al., 2024).

En el comienzo de la jornada de siembra, es evidente que la ausencia de tecnología no se percibe de manera significativa. Sin embargo, conforme transcurre el tiempo, se puede observar en aspectos como la eficiencia en el tiempo debido a la fatiga del operario y errores por distracción en relación con la calidad del trabajo. Esto contrasta con el uso del piloto automático, con el cual se lleva a cabo un trabajo uniforme y constante a lo largo de toda la jornada.

2.8 Siembra tradicional

El método de siembra tradicional se basa en la agricultura tradicional para preparar o arar el terreno antes de comenzar el proceso, empleando herramientas agrícolas o maquinaria para la eliminación de la capa superior del mismo. (Jacto, 2022).

La agricultura se aplica, entre otras cosas, para reducir la compactación de la tierra, eliminar las especies vegetales, airear y nivelar el terreno e incorporar materia orgánica. Adicionalmente, contribuye a la destrucción de los refugios de plagas y a la correcta distribución de los nutrientes del suelo. (Jacto, 2022).

Ventajas de la siembra tradicional

- Beneficios fitosanitarios y de control de plagas por la eliminación de rastrojos y destrucción mecánica de malezas perennes.
- En invierno, mejora de la subida del agua por capilaridad.
- En primavera, incremento rápido de la temperatura del suelo.
- Método de probada eficacia. Las diferentes modalidades de siembra convencional no requieren inversiones en maquinaria tan costosas, como en la siembra directa.

Desventajas de la siembra tradicional

- Mayores costos de producción.
- Disminución de la cantidad de invertebrados beneficiosos del terreno.
- Efectos negativos sobre la estructura del suelo en condiciones de excesiva humedad. Mayor riesgo de erosión y de deslizamientos de tierra en suelos arcillosos.
- En primavera, necesidad de volver a compactar el terreno.

2.9 Administración de mecanización agrícola

La mecanización agrícola es un medio de administración de la actividad agrícola. La meca, ya sea de nivel, tipo de mecanización o industrialización, solo generará un incremento en los rendimientos de los cultivos si los productores lo utilizan para eliminar o disminuir las restricciones específicas, con el fin de alcanzar el potencial productivo de sus recursos. La mecanización es únicamente un componente del conjunto de materiales que establecen la producción y, por lo general, no se puede separar el impacto en dicha producción y determinar en términos cuantitativos; en términos generales, la mecanización disminuye el trabajo físico humano. (Cortés et al., 2009)

La necesidad de trabajadores cambia durante el cultivo. Durante la agricultura y la recolección se requiere un mayor número de trabajadores, en comparación

con otros periodos de crecimiento de las plantas. La falta de mano de obra genera problemas logísticos para la administración y la planificación del trabajo. Con la mecanización. La mecanización permite disminuir la demanda de trabajo en momentos de pico y mantener un empleo estable. (Cortés et al., 2009).

Todas las labores mecánicas llevadas a cabo en un terreno o cultivo deben tener una justificación y una secuencia estructurada, con el fin de optimizar el uso de los equipos y, en consecuencia, obtener rendimientos superiores a costos reducidos.

2.10 Sistemas de labranza

El propósito de la agricultura o preparación del suelo es modificar, mediante técnicas mecánicas o manuales, las condiciones físicas iniciales del suelo para optimizarlas conforme a los objetivos buscados. (Martinez et al., 2016).

El uso de la labranza tradicional (LT) en la agricultura ha creado una situación negativa para la conservación de los recursos productivos, especialmente dañando el suelo. Este tipo de cultivo causa la pérdida de materia orgánica porque mezcla el suelo con los restos de la cosecha, destruye los grupos de suelo y aumenta la aireación. Por estas razones, la fertilidad disminuye y el riesgo de erosión aumenta. (Martinez et al., 2016).

Martinez et al., (2016) indica que la labranza de conservación, también conocida como labranza cero (LC), se origina como respuesta a la necesidad de preservar el recurso terrestre y constituye un componente esencial de los sistemas agrícolas. Este sistema puede ayudar a reducir la erosión, disminuir los costos de producción por hectárea relacionados con el uso de maquinaria, y también a reducir la compactación, el gasto de combustible y la necesidad de equipos.

Una forma de disminuir el uso de combustible y mejorar el manejo de los recursos naturales en la preparación del suelo es usando tecnología de labranza vertical para la preparación primaria del suelo. (Reynolds et al., 2020).

Como lo menciona Cadena et al., (2012), la agricultura vertical es una opción más favorable como método de conservación, dado que, a pesar de que puede haber un pequeño descenso en el rendimiento, el ahorro de energía es significativo, tal como lo indico (Cavalariis y Gemptos, 2002).

2.11 Antecedentes del proyecto

En Honduras, se llevó a cabo un estudio sobre el uso de tecnologías. Se utilizó un tractor agrícola John Deere® serie 6155J con una potencia de 155 hp, junto con la tecnología de precisión Agricultural Management Solutions (AMS) de John Deere®, un monitor GreenStar 2630, un piloto automático universal ATU 200 y un receptor StarFire 3000. Además, se usaron cuatro implementos agrícolas: dos para preparar el suelo, uno para simular la siembra y uno para simular la aplicación de agua.

Para la evaluación de los implementos, se emplearon cuatro lotes de 100 × 100 metros cada uno. Estos, a su vez, fueron divididos en cuatro sublotés de 25 × 100 metros. Estos se utilizaron como repeticiones, en las cuales se llevaron a cabo simulaciones de uso para cada implemento y tratamiento, tanto con tecnología como sin ella. (Montero, 2016).

Las conclusiones y recomendaciones derivadas de la evaluación fueron que para el uso de la tecnología Auto Trac en combinación con el tractor en lotes pequeños, debido a la reducida eficiencia en el trabajo. Se recomienda emplear la tecnología Auto Trac en combinación con el tractor para la labor de arado en los lotes evaluados, ya que incrementa la eficiencia de las pasadas. Se recomienda llevar a cabo una investigación similar con lotes de mayor área para observar diferencias con implementos de mayor ancho de trabajo.

Un año después, en 2017, se repitió el mismo experimento, pero en diferentes condiciones. Se usaron dos tractores agrícolas, cuatro implementos agrícolas, dos rastras (una liviana y una pesada) para preparar el suelo, una asperjadora para herbicidas y una sembradora para maíz y sorgo. También se incluyó tecnología de precisión de Agricultural Management Solutions (AMS) de John Deere®, como el monitor GreenStar 2630, el receptor StarFire 3000 y un piloto automático universal ATU 200 en el tractor 6155J.

Se usaron dos tratamientos para cada implemento. El primero fue con la tecnología AMS-AutoTrac, que utilizó el monitor GreenStar 2630, el receptor StarFire 3000, que recibió una señal SF1, y el piloto automático universal ATU 200 para definir los recorridos del equipo. El segundo procedimiento, que no implica la utilización de la tecnología AMS-AutoTrac, implicó el paso tradicional

de los implementos, lo que implica que el operador del tractor determinó por donde sería más conveniente mover el implemento. (Ayala & Flores, 2017).

Las conclusiones y sugerencias a las que llegaron fueron para la sembradora, donde se observó una diferencia notable en las tres variables. En términos de tiempo neto, el tratamiento con AMS produce una disminución del 6% del tiempo requerido para llevar a cabo el trabajo de manera tradicional (Sin AMS), esto se debe a una gestión constante y regular, dirigida por satélites, que minimiza los solapes o giros superfluos en el pase y disminuye el estrés y el agotamiento del trabajador. El sistema AMS produce un incremento del 24% en el tiempo necesario para trabajar de forma tradicional; este incremento en el tiempo está vinculado con la calidad del trabajo dado que, de forma tradicional, cuando el operador localiza el implemento en la próxima pasada, lo realiza mediante el uso del brazo marcador y la vista para determinar que el implemento se encuentre en el lugar correcto (Ayala & Flores, 2017).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

El trabajo se desarrolló en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con la ubicación geográfica de 25° 23' 42" de latitud y 100° 59' 57" de longitud y una altitud de 1743 metros sobre el nivel del mar (msnm), clima semiárido con temperaturas de 16.9°C, una precipitación anual de 435 ml, contando con suelo franco arcilloso (34.1% arcilla, 3.4% limo, 32.5% arena) a profundidad de 0 a 20 cm y con un total de 2.09% de materia orgánica (Aldaco et. al. 2023, Demuner et al. 2014). Tiene el objetivo de analizar los anchos de trabajo en la siembra de maíz forrajero, esto representado por porcentaje de eficiencia de trabajo bajo cuatro sistemas de labranza (LT: Labranza Tradicional; LV: Labranza Vertical; LC: Cero Labranza; PLT: Labranza Tradicional con Piloto automático). Se desarrollo un Diseño Experimental Bloques Completamente al Azar, el cual tuvo como bloques tres repeticiones de muestreo de anchos de trabajo y cuatro replicas experimentales las cuales son los sistemas de labranza.

Para la distribución en campo se establecieron parcelas de 40 por 12 m en los sistemas de labranza una vez establecidas las parcelas se sorteó la ubicación de cada tratamiento por unidad experimental como se observa en la Figura (3.1a) y para el tratamiento PTL en la siembra se estableció la ubicación de la unidad experimental al azar como se aprecia en la Figura (3.1b).



Figura 3.1 a) Área de siembra 1 (sistemas de labranza) y b) Área de siembra 2 (Labranza tradicional).

Para la recolección de datos se utilizó una cinta métrica en la zona cubierta por el pasó de la sembradora, se realizaron 3 repeticiones de muestra de ancho de trabajo en 7 surcos establecidos ubicando la medición en los extremos y el centro aproximadamente, además una vez que emergió el cultivo se realizó el conteo de plantas por metro lineal y con ello se determina la cantidad de plantas por hectárea para esto también se realizaron tres repeticiones en la unidad experimental.

3.1 Preparación del terreno

EL área de trabajo se prepara previamente realizando en cada parcela el sistema de labranza correspondiente con un tractor JD 6403 TS y los diferentes implementos, para esta actividad no se recolectó ningún dato debido a que se pretende analizar el comportamiento de la siembra.

Sistemas de labranza

Se analizaron los sistemas de labranza, labranza tradicional (LT): Arado de discos, rastra y sembradora; labranza vertical (LV): Multiarado JD, rastra y sembradora; labranza cero (LC): Sembradora, en el área de siembra 1 como se aprecia en la figura (3.1a), sin piloto automático para labranza tradicional con piloto automático

(PLT): se realizó lo mismo que en LT, pero se incluyó el piloto automático (AutoTrac™ universal John Deere) integrado al tractor John Deere 6403 Ts observado en la figura (3.1b), esperando un ancho de trabajo de 5.25 m en 7 surcos.

3.2 Planificación de siembra

La siembra se realizó el 5 de julio de 2023, utilizando maíz forrajero de la variedad Pancho Villa AN-360, el cual tiene un 85% de germinación; para la calibración de la sembradora 1030 John Deere se realizó con base en la siguiente fórmula que proporciona (Rawson & Gómez, 2001), a esta fórmula se le agrego el porcentaje de deslizamiento de la rueda motriz de la sembradora, puesto que es de suma importancia tenerlo en cuenta como un factor, algunos autores (Garibaldi et al., 2019; Agnes, 2015).

$$CS = \frac{(OP)(100)}{(\%G - \%D)} \quad (3.1)$$

Donde:

- CS= Calibración de sembradora
- OP= Población de plantas objetivo
- %G= Porcentaje de germinación
- %D= Porcentaje de deslizamiento de la rueda motriz

3.3 Análisis de datos

En el conteo de población del cultivo se estableció por metro lineal y se extrapoló a hectáreas mediante el uso de la formula (3.2); sabiendo que la separación entre cada surco es de 0.75 m.

$$PC_{ha} = \frac{(\#p)(10000)}{as} \quad (3.2)$$

Donde:

- PC_{ha} = Población de cultivo (plantas ha^{-1})
- #p= plantas en metro lineal (plantas m^{-1})
- as= ancho de surco (m)

Para realizar el cálculo de la eficiencia del ancho de trabajo se utilizó la fórmula (3.3) considerando que en 7 surcos medidos se desean obtener 5.25 m y este ancho se utiliza como constante.

$$EAT = \left(\frac{ATC}{ATT} \right) (100) \quad (3.3)$$

Donde:

- EAT= Eficiencia ancho de trabajo (%)
- ATT= Ancho de trabajo teórico (m)
- ATC= Ancho de trabajo en campo (m)

Los anchos de trabajo correspondientes a cada tratamiento fueron medidos en campo para posteriormente aplicar la Fórmula 3.3, con el propósito de obtener valores precisos y consistentes. Posteriormente, los resultados obtenidos se registraron en una hoja de cálculo Excel, lo que permitió un mejor manejo, organización y análisis de la información.

3.4 Análisis estadístico

Para el análisis de la población de semilla se establece como supuesto de prueba: La población de maíz es igual en todos los sistemas de labranza (LT, LV, LC y PLT). Mientras que para la eficiencia se utiliza el supuesto de prueba: La eficiencia del ancho de trabajo es igual en los sistemas de labranza (LT, LV, LC y PLT).

El modelo del DBCA se representa en la fórmula (3.4), que describe a los tratamientos, los cuales corresponden a los diferentes sistemas de labranza y los bloques corresponden a las distribuciones de las repeticiones completamente aleatorizadas, contando con tres replicas experimentales. Analizando el efecto de los tratamientos en población del cultivo y eficiencia en anchos de trabajo para la siembra. Además, se realizarán pruebas de comparación múltiple de medias para conocer el mejor tratamiento.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \quad (3.4)$$

Donde

Y_{ij} = La variable aleatoria observable del i – ésimo tratamiento y la j – ésima repetición.

μ = La escala que representa la población promedio

τ_i = El efecto del i – ésimo tratamiento

β_j = El efecto del j – ésimo bloque

ε_{ij} =El componente aleatorio de errores

El análisis de varianza se realizó en el software Minitab 19 con la herramienta Modelo Lineal General y en la misma herramienta se realizó la comparación múltiple de medias. Además, se corroboró el ANOVA en R 4.1.2 para una alternativa de análisis de datos.

Para las gráficas de datos se utilizó, Excel además de los programas ya mencionados.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

La variedad Pancho Villa AN-360 cuenta con un 85% de germinación y se calibró la sembradora a 121,000 semillas por hectárea para la obtención de 100,000 plantas. La población promedio del cultivo por tratamiento fue de LC 118,516; LT 108,145 y LV 97,775 semillas por hectárea como se aprecia en la figura (4.1) el ANOVA indica que estadísticamente son iguales lo cual representa que para este experimento los sistemas de labranza no tienen efectos en la población de semillas sembradas. Blanco y González (2021) obtuvieron mayores rendimientos al aumentar la densidad de población con el híbrido HST-3235, pero no consideraron sistemas de labranza en su experimento.

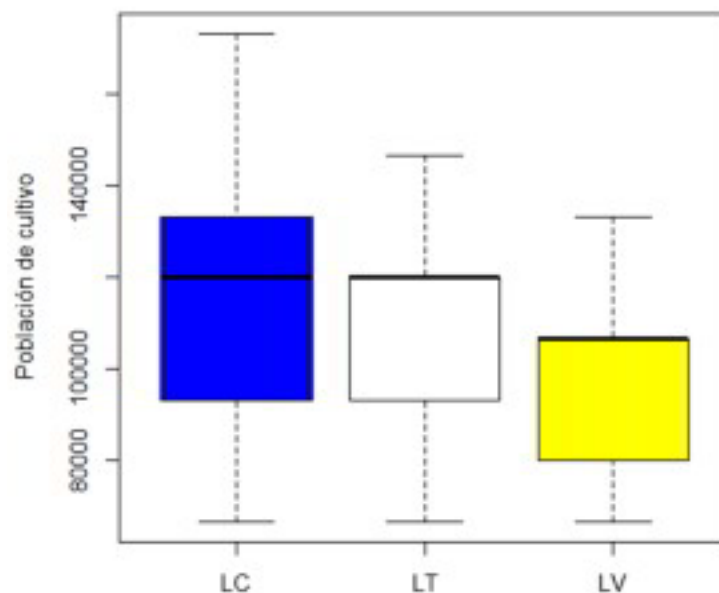


Figura 4.1 Diagrama de cajas de la población del cultivo.

Cabe aclarar que solo se midió la población en los sistemas de labranza LT, LV y LC debido a un problema con el sistema de riego en PLT no existió una emergencia pareja de semillas en las unidades experimentales por lo tanto se descartó para este análisis.

4.1 Eficiencias de trabajo (anchos de labor)

En la figura 4.2 se observa el desempeño de los anchos de trabajo, representados por eficiencia de trabajo en campo en porcentajes. Donde los porcentajes positivos indican menor ancho de trabajo por el contrario el porcentaje negativo indica mayor ancho de trabajo en campo. Observando que la LT cuenta con mayor ancho de trabajo esperado, la tendencia de los datos en la PLT cuenta con mayor estabilidad a cero y por otro lado la LV cuenta con mayor variabilidad.

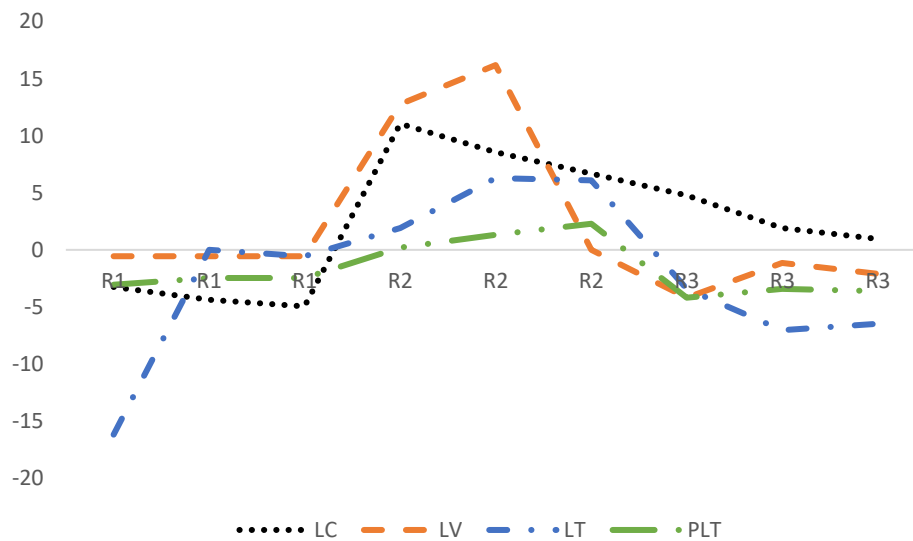


Figura 4.2 Eficiencia de trabajo con diferentes sistemas de labranza.

Lo anterior se puede comprobar con los resultados que representan que LC y LV tienen una media positiva lo que indica que estos tratamientos mostraron una tendencia a un ancho menor al esperado con una dispersión de datos considerados de alta a moderada respectivamente esto se puede corroborar en el Cuadro 4.1 en la columna de coeficiente de variación, por otro lado, LT y PLT representan que los anchos fueron mayores, pero para LT se aprecia una desviación alta mientras que para PLT baja y la menor a todos los tratamientos. Además, PLT representa una menor amplitud de datos observando la Cuadro 4.1 Mínimos y Máximos, por este motivo es que en la figura 4.2 representa mayor estabilidad la curva de tendencia de PLT.

Cuadro 4.6 Eficiencia de ancho de trabajo en sistemas de labranza

TRAT	MEDIA	STDEV	CV	MÍNIMO	MÁXIMO
LC	2.37	±5.82	222.78	-4.95	11.05
LT	-2.16	±7.11	329.16	-16.19	6.29
LV	2.20	±7.12	323.63	-4.19	16.19
PLT	-1.71	±2.36	138.01	-4.19	2.29

TRAT.: TRATAMIENTOS; STDEV: DESVIACIÓN ESTÁNDAR; CV: COEFICIENTE DE VARIACIÓN

4.2 Análisis de varianza de la eficiencia de trabajo (anchos de labor)

En el cuadro 4.2 se presenta el análisis de varianza de los datos de eficiencia de trabajo que representan los anchos de labor en las parcelas lo cual permite concluir que existe diferencia significativa en los tratamientos y alta diferencia significativa en las repeticiones (bloques) lo que sugiere que existían variaciones importantes a lo largo del campo experimental.

Cuadro 4.6 Eficiencia de trabajo en sistemas de labranza

Respuesta: EAT

	GL	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Tratamiento	3	161.46	53.83	3.3242	0.03284 *
Repetición	2	639.44	319.72	19.7471	3.37e-06 ***
Total	30	485.72	16.19		

Significancia: 0; '***' 0.001; '**' 0.01; '*' 0.05; '.' 0.1; ' ' 1

GL: Grados de libertad; SC: Suma de cuadrados; Cuadrados medios; Pr(>F): p-valor

Por lo anterior se observa que los sistemas de labranza si influyen en el ancho de siembra, cuando se realiza la comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey los tratamientos son clasificados en el mismo grupo como se observa en la figura 4.3, este método considera que los tratamientos son similares, pero con menor valor de media el tratamiento de PLT.

Comparación Tukey

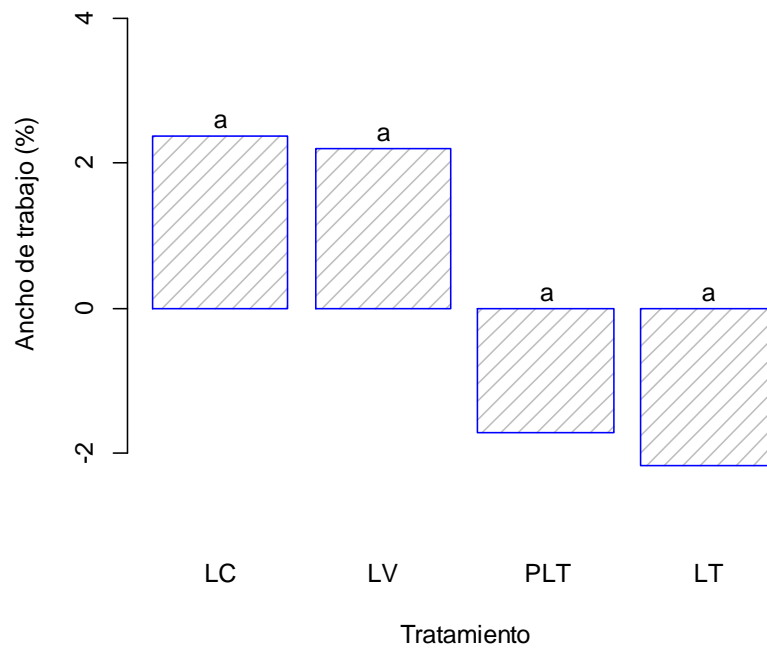


Figura 4.3 Comparación múltiple de medias método Tukey.

Con el método de Fisher se clasifican los tratamientos LC y LV en el grupo A mientras que LT y PLT en el grupo B como se observa en la figura 4.4.

Comparación Fisher

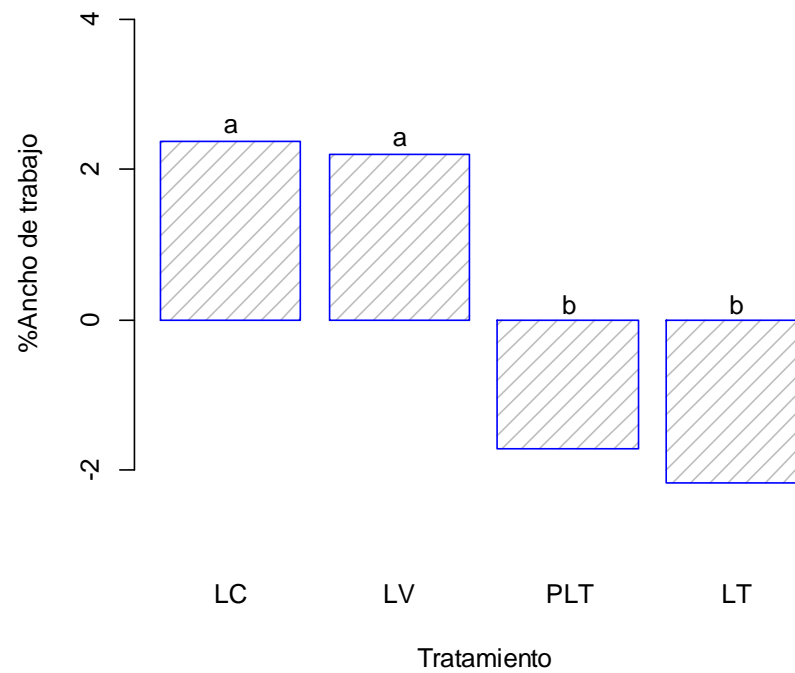


Figura 4.4 Comparación múltiple de medias método Fisher.

Independientemente del método que se utilice se observa que el tratamiento que más se ajusta a contar con un ancho de trabajo eficiente es el PLT, por lo que se puede recomendar la implementación en las labores agrícolas.

En la figura 4.5 se observa la tendencia de la eficiencia de trabajo con respecto a las repeticiones en cada unidad experimental, considerando que R1 y R3 son datos hacia los extremos y R2 son datos más enfocados al centro de la unidad experimental.

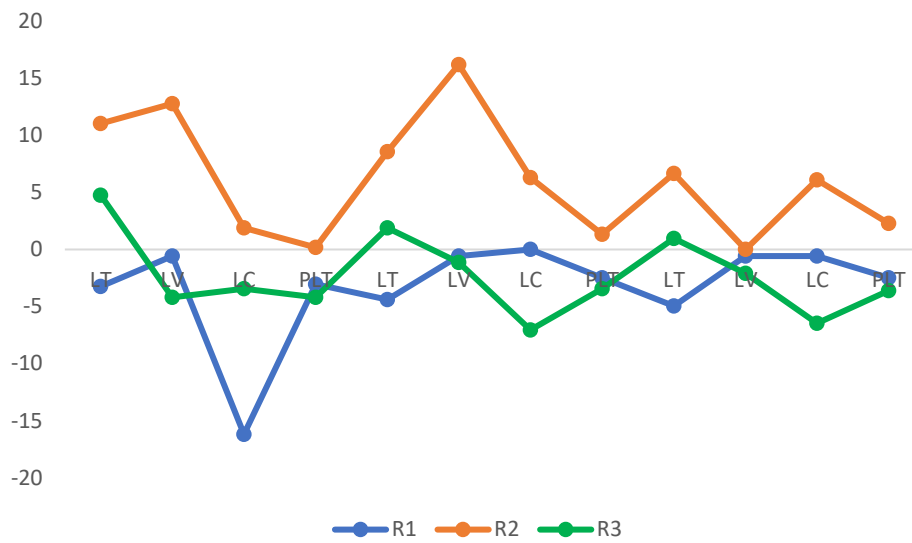


Figura 4.5 Bloques del experimento representado por las repeticiones.

En cuando a la alta significancia que se presenta en los bloques debido a que representan las repeticiones (bloques) de datos muestreados se observa en la figura 4.6 la comparación múltiple de medias por medio de la prueba de Tukey arrojando los mismos resultados con Fisher.

Comparación Tukey

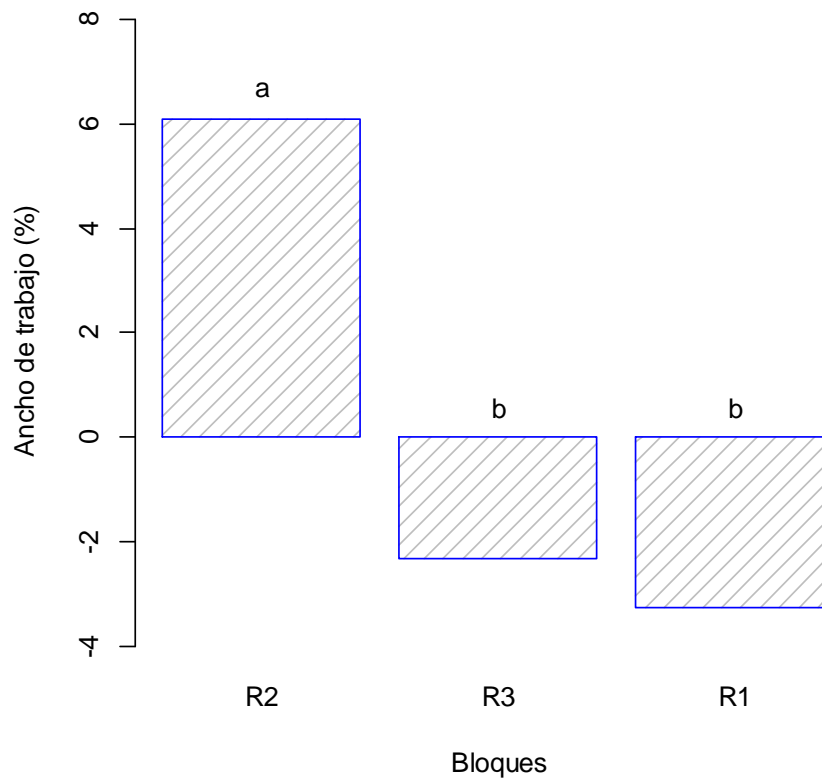


Figura 4.6 Comparación múltiple de medias prueba Tukey para bloques.

La repetición una y tres comparten el mismo grupo mientras que la repetición dos es diferente con un porcentaje positivo representando que el ancho de trabajo es menor, esto debido a que R2 se aproxima al centro de la parcela mientras que R1 y R3 son más a los extremos, con esto podemos indicar que la ubicación de toma de datos si influye y que el operador entre más se aleje de los extremos más tiende a unir los surcos de siembra, por lo tanto quedan más cerca lo cual puede representar una competencia entre plantas.

El cuadro 4.3 se aprecia que los tratamientos no presentan diferencia con Tukey ($p=0.05$) pero tienden a presentar una diferencia con Fisher ($p=0.10$) presentando el menor índice de error PLT. Se observa que PLT y LT tienden a tener mayor ancho de trabajo en la siembra, mientras que LC y LV menor ancho de trabajo, por ello se representa los surcos que pueden abarcar con una hectárea siendo PLT el que cuenta con menor cantidad de surcos, pero con menor error esto indica que para la siembra con piloto automático puede ser la mejor opción debido a que presenta menor desviación y error estándar con respecto a los otros tratamientos.

Cuadro 4.15 Resultados de la eficiencia en ancho de trabajo.

Trat.	Media EAT	DS	EE	AT	Surcos ha⁻¹	Grupo Tukey	Grupo Fisher
LC	2.37	±5.82	1.94	5.13	19.51	a	a
LV	2.20	±7.12	2.37	5.13	19.48	a	a
PLT	-1.71	±2.36	0.79	5.34	18.73	a	b
LT	-2.16	±7.10	2.37	5.36	18.65	a	b

Trat.: tratamiento; EAT: Eficiencia de ancho de trabajo (%); DS: Desviación estándar; EE: error estándar; AT: Ancho de trabajo (m)

CAPÍTULO V DISCUSIONES

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que el uso de piloto automático durante la siembra tiene un efecto positivo sobre la eficiencia del ancho de trabajo, en comparación con la manera tradicional en distintos sistemas de labranza. A diferencia de lo reportado por Montero (2016) y Flores & Ayala (2017), quienes indican que la eficiencia operacional tiende a disminuir con el uso de piloto automático debido a posibles errores de calibración o adaptación del operador, los datos aquí analizados muestran un comportamiento opuesto.

El análisis estadístico revela que, si bien el número total de surcos sembrados con piloto automático fue menor en comparación con los otros tratamientos, este sistema presentó la menor desviación estándar y el menor error estándar en los anchos de trabajo registrados. Este hallazgo sugiere una mayor consistencia y repetibilidad en las pasadas, lo que es indicativo de una mayor eficiencia operativa y un mejor aprovechamiento del terreno disponible.

Entre los sistemas de labranza evaluados (vertical, labranza cero y labranza tradicional), se observó que el piloto automático contribuyó a reducir la variabilidad asociada al trazado manual, independientemente del sistema de preparación del suelo. En este sentido, el piloto automático permitió mantener trayectorias más rectas y precisas, minimizando los solapes y omisiones, factores críticos en la determinación del ancho de trabajo efectivo.

Además, estos resultados resaltan la importancia de considerar no solo el número de surcos sembrados como indicador de eficiencia, sino también la uniformidad y precisión del proceso. Una menor cantidad de surcos, si está acompañada de una menor variabilidad, puede resultar más eficiente en términos de utilización del espacio y consumo de recursos.

Cabe señalar que, si bien la eficiencia mejoró con el uso de piloto automático, su efectividad está sujeta a condiciones específicas de calibración, terreno y tipo de implemento utilizado. Por tanto, se recomienda realizar ajustes previos y capacitar adecuadamente al operador para maximizar los beneficios del sistema.

El uso de piloto automático representa una herramienta efectiva para optimizar el ancho de trabajo en la siembra de precisión, especialmente cuando se combina con sistemas de labranza que favorecen la uniformidad del terreno. Los resultados contradicen parcialmente estudios anteriores, lo que sugiere que es necesario seguir investigando bajo distintas condiciones.

CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los sistemas de labranza evaluados no presentan efectos en la germinación y emergencia del maíz, pero de acuerdo con las medias en este experimento la labranza tradicional es la que más se ajusta a la población objetivo que se planteó para la calibración con un total de 100,000 semillas por hectárea y arrojó 108,145 LT.

Los sistemas de labranza evaluados al 90% de confianza se establecen como mejores tratamientos LT y PLT, indicando que PLT cuenta con menor desviación y error estándar contando con mayor estabilidad por lo tanto la tecnología de piloto automático (AutoTrac™ John Deere) contribuye al desarrollo eficiente de la actividad de siembra mediante la optimización del uso de la superficie disponible y una distribución más uniforme. Esto se traduce en un mejor aprovechamiento del terreno, impactando de manera positiva en el rendimiento del cultivo, al maximizar el área sembrada y, en consecuencia, lograr una mayor productividad.

REFERENCIAS

- Agnes, D. W. (2015). *Universidad Nacional de La Plata*.
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/49648/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Agnes, D. W. (2015). *Universidad Nacional de La Plata*.
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/49648/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Álvarez. (2025). <https://www.campogalego.es/siembra-del-maiz-en-convensional-y-en-doble-fila-comparativa-de-resultados/>
- Ayala, & Flores. (Noviembre de 2017). *Escuela Agrícola Panamericana*.
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/2a0ce339-0e20-4ca4-9080-7b54b9d5a12e/content>
- Cadena et al. (Agosto de 2012).
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792012000300279
- Certis Belchim*. (Julio de 2022). <https://certisbelchim.es/agricultura-tradicional-caracteristicas-y-diferencias-con-la-intensiva/>
- CIMMYT*. (27 de Septiembre de 2021). <https://idp.cimmyt.org/hechos-de-maiz/>
- Cortés et al. (20 de Noviembre de 2009).
<https://www.redalyc.org/pdf/3214/321428102015.pdf>
- Eos data analytics*. (29 de Diciembre de 2021).
<https://eos.com/es/blog/conservacion-del-suelo/>
- FAO. (28 de Enero de 2022).
<https://www.fao.org/newsroom/detail/agriculture-soils-degradation-FAO-GFFA-2022/es>
- FAO. (2024). <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/conservacion-del-suelo/es/>
- Garibaldi et al. (8 de Noviembre de 2019). *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-40262020000100021&script=sci_arttext&tlng=es
- INCyTU*. (Abril de 2018).
https://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_18-015.pdf

- Info pastos y forrajes*. (2025). <https://infopastosyforrajes.com/pasto-de-corte/maiz-forrajero/>
- Ipbes*. (26 de Marzo de 2018). <https://www.ipbes.net/news/comunicado-de-prensa-la-degradaci%C3%B3n-del-suelo-nivel-mundial-empeora-y-ahora-es-cr%C3%ADtica-poniendo>
- Jacto*. (22 de Diciembre de 2022). <https://bloglatam.jacto.com/siembra-convencional/>
- Martinez et al. (15 de Junio de 2016). *Revista Ingenieria Agricola*.
https://www.researchgate.net/publication/309105017_Comparison_of_technologies_of_soil_farming_in_red_ferralitic_soil_at_Pulido_farm?channel=doi&linkId=57ff977508ae6fc7fc64f39b&showFulltext=true
- Montero, O. F. (Noviembre de 2016). *Escuela Agrícola Panamericana*.
<https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/a32d9372-1d38-4902-ab1a-06c32e2de69c/content>
- Rawson, & Gómez. (2001). *FAO*.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/3876114d-3236-4b4a-8d05-ca5b5af606a1/content/x8234s00.htm#Contents>
- Reynolds et al. (Agosto de 2020). *Inifap*.
<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2018/CD006307.pdf>
- (s.f). Obtenido de Maiz forrajero:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/96272/Ma_zForrajero_monografias.pdf
- SADER*. (20 de Julio de 2020).
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-el-cultivo-de-mexico>
- SADER*. (30 de Junio de 2020).
<https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-blanco-o-amarillo-es-el-cultivo-de-tradicion-y-desarrollo>
- Secretaria del medio ambiente Coahuila*. (Marzo de 2022).
<https://sma.gob.mx/diagnostico-ambiental/>
- SEMARNAT*. (2015). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México.:
https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
- SIAP*. (2016). <https://www.tamaulipas.gob.mx/campo/wp-content/uploads/sites/40/2019/09/maiz-forrajero.pdf>

- Villarroel et al. (2024). *Red Agricultura de Precisión*. Obtenido de INTA EEA Manfredi: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_c4-_el_piloto_automtico_en_la_agricultura.pdf
- Yara. (2025). <https://www.yara.com.mx/nutricion-vegetal/maiz/principios-agronomicos/>