

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

**Análisis de la eficiencia de una herramienta manual para deshierbe y aporque
en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Nero, Azuay**

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Agrónomo

Autor:

Jonattan Isdrael Naula Alvarracin

Director:

Andrés Eduardo Arciniegas Fárez

ORCID:  0009-0008-3470-511X

Cuenca, Ecuador

2024-08-06

Resumen

El presente estudio tiene como finalidad analizar la eficiencia de una herramienta manual para deshierbe y aporque en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Nero, Azuay, por lo cual, se establecieron tres objetivos específicos: comparar las características del suelo antes del establecimiento del cultivo (AEC), y después del aporque (POST/AP); evaluar el comportamiento fenológico del cultivo con tres densidades de siembra entre surcos y entre plantas (d1 0,50x0,40 m), d2 (0,75x0,40m) y d3 (1x0,40m), así también con los tratamientos T1 (azada) y T2 (surcadora). Los análisis permitieron determinar la influencia de la herramienta y costos de producción en el desarrollo del cultivo hasta la etapa fenológica V11. Finalmente, se estimaron los costos de producción, utilizando la herramienta manual T2 frente a herramientas tradicionales T1, para evaluar la viabilidad económica y la eficiencia de tiempo de trabajo. Mediante los resultados, se evidenció que, para siete parámetros de las propiedades físico-químicas del suelo evaluadas. El porcentaje de materia orgánica (%MO), fue la única variable que presentó diferencias estadísticas significativas en relación con los tratamientos T1 y T2, por otro lado, las densidades d3 presentan diferencias significativas en altura de planta, número de hojas y grosor de tallo a diferencia de d1 y d2. Así T2 tuvo mayor eficiencia de tiempo frente a T1, lo cual implica menor costo de producción. Analizando este estudio, permite optar por alternativas que mejoren la productividad del trabajo en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Nero, Azuay.

Palabras clave del autor: maíz, eficiencia, aporque, surcadora, densidad



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The purpose of this study was to analyze the efficiency of a hand tool for weeding and ridging in corn (*Zea mays* L.) cultivation in Nero, Azuay, for which three specific objectives were established. First, soil characteristics before crop establishment (AEC) and after hilling (POST/AP) were compared to evaluate any significant changes caused by the use of the hand tool. Secondly, phenological behavior was evaluated at three planting densities, d1(0.50m), d2(0.75) and d3(1m) between rows, to determine the influence of this on crop development. Finally, production costs were estimated, using the manual tool T2 (furrower), compared to traditional tools T1 (hoe), to evaluate the economic viability and efficiency of the use of this tool. The results showed that, for seven parameters of the physical-chemical properties of the soil evaluated, the %MO was the only variable that presented significant statistical differences in relation to the treatments T1 and T2, on the other hand, the densities d3 presented significant differences in plant height, number of leaves and stem thickness as opposed to d1 and d2, so T2 had greater time efficiency compared to T1, in relation to production costs. Analyzing this study allows opting for alternatives to improve labor productivity in the cultivation of corn (*Zea mays* L.) in Nero, Azuay.

Author's key words: maize, efficiency, ridging, harrow, density



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

1	Introducción.....	9
2	Objetivos	11
2.1	General:.....	11
2.2	Específicos:	11
3	Revisión de Bibliografía.....	12
3.1	Evolución Histórica de las herramientas agrícolas	12
3.1.1.	Mecanización Agrícola a Nivel Mundial.....	13
3.1.2.	Mecanización agrícola en Ecuador	13
3.2	Labranza en el Ecuador	14
3.2.1	Labranza tradicional en la Sierra ecuatoriana	14
3.2.2	Situación actual de la mecanización agrícola en la sierra ecuatoriana.....	15
3.3	Herramientas tradicionales de la agricultura ecuatoriana.....	16
3.3.1	La chakana, azada o azadón	16
3.4	Herramientas manuales con uso de mecanización agrícola en Ecuador.....	17
3.4.1	Surcadora y Aporcadora Manual.....	18
3.4.2	Diseño y características de la surcadora manual	19
3.5	Cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en el Ecuador.....	20
3.5.1	Rendimiento del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en Ecuador.....	20
3.5.2	Labranza en el cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	21
3.5.3	Sistema de labranza de maíz en la sierra ecuatoriana.....	21
3.5.4	Situación actual del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en el Azuay	21
3.5.5	Sistema tradicional de cultivo de maíz en Azuay	22
3.5.6	Mano de obra utilizada en el cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) en Azuay	22
4	Materiales y Métodos	23
4.1	Área de Estudio	23
4.2	Establecimiento de cultivo.....	24
4.2.1	Contexto físico del área de estudio	24
4.2.2	Delimitación de terreno	24
4.2.3	Preparación de suelo	24
4.2.4	División de parcelas experimentales.....	24
4.2.5	Población y tamaño de muestra.....	25
4.2.6	Siembra	25
4.2.7	Rediseño surcadora manual	25

4.3	Metodología.....	27
4.3.1	Metodología objetivo específico 1: Evaluar las características del suelo antes y después de la producción del cultivo de maíz.	27
4.3.2	Metodología objetivo específico 2: Evaluar el comportamiento fenológico del cultivo de maíz en tres densidades de siembra.....	29
4.3.3	Metodología para el objetivo específico 3: Estimar la productividad y costos de producción obtenidos en tiempo del uso de la herramienta manual frente a herramientas tradicionales en cultivo de maíz hasta la etapa fenológica de llenado de grano	29
5	Resultados	31
5.1	Características físicas de suelo.....	31
5.1.1	Comparación pH, C.E., Densidad real y Densidad aparente antes del establecimiento del cultivo (AEC) y post-aporque (POST-AP)	31
5.1.2	Evaluación fenológica del cultivo (Altura, Numero de hojas, Diámetro de tallo)	35
5.2	Costos de producción y optimización de tiempo	40
5.2.1	Comparación de uso en tiempo	40
6	Discusión.....	42
7	Conclusión	45
8	Referencias Bibliográficas	46
9	Anexos	51

Índice de Tablas

Tabla 1. Diseño y distribución de parcelas experimentales con sus respectivos tratamientos y densidades en el área de estudio.....	28
Tabla 2. Parámetros del suelo al ser evaluados durante el proyecto de investigación.....	28
Tabla 3. Caracterización del suelo al inicio de la experimentación (Línea Base).....	32
Tabla 4. Clases texturales evaluadas los dos tratamientos (T1 Y T2) con sus respectivas densidades (d1, d2, d3), en dos momentos de medición (AEC) y (POST/AP)	37
Tabla 5. Costos de producción contemplados al tratamiento 1 (T1).....	44
Tabla 6. Costos de producción contemplados al tratamiento 2 (T2).....	44

Agradecimientos

Al llegar a esta etapa de mi vida, ni en una página completa podría expresar mi profundo agradecimiento a todas aquellas personas que me acompañaron a lo largo de este extenso trayecto de mi vida, ya que sin ellos yo no podría decir que he cumplido una meta más en mi vida profesional.

Ante todo, siempre doy gracias a Dios, en quien siempre me he postrado cuando más lo he necesitado y ha estado ahí, ya que mediante su sabiduría me supo guiar para poder llegar lejos en esta vida.

De igual manera, le agradezco con mi alma a mi madre y a mi abuelita, quienes siempre depositaron sus sueños, sus anhelos y confianza en mí y nunca me dejaron solo cuando necesitaba una inspiración para seguir adelante y nunca desfallecer en el camino por más difícil que este fuera.

Así también agradezco al Ing. Andrés Arciniegas, quien supo motivarme para lograr finalizar esta investigación y que con su apoyo incondicional se pudo llevar a cabo la misma obteniendo resultados favorables, así como también me incentivó para poder direccionarme de la mejor manera en esta investigación, así como en futuras.

Dedicatorias

Todo este esfuerzo se lo dedico a mi abuelo José Daniel Naula, que ya no está conmigo, pero desde pequeño me ha inculcado valores importantes que me ayudaron desde la niñez hasta esta etapa de la vida, ya que siempre en él vi un hombre trabajador y por él nació mi amor por el trabajo en el campo.

Con todo mi corazón agradezco a mi mamá Ana Lucía Naula y mi abuela Rosa Alvarracin, las que son pilares fundamentales en mi vida y que por ellas siempre está en mi esforzarme cada día, ya que ellas son el eje central de mi vida y siento que nunca podré pagarles todo lo que han hecho por mí desde que era un niño.

A Daysi Naula, que fue una persona importante y fundamental en esta etapa de mi vida, ya que siempre estuvo ahí cuando necesité a alguien, pues siempre me dio aliento en momentos difíciles y pudo lograr que cada día sea una mejor persona, siempre llevaré en el alma, así como en el corazón las palabras de aliento y el apoyo incondicional que me brindó para nunca darme por vencido, así como la etapa de vida que compartimos juntos, un día te dije que lo lograría y así fue nena lo logré.

A mis profesores, que siempre supieron incentivar en mí las expectativas de seguir aprendiendo y no quedarme en el camino, así como fomentar valores éticos y morales para una vida profesional honorable.

A mis amigos, que desde el inicio de la carrera extendimos lazos de amistad muy por fuera de las aulas de clase y siempre hubo ese espíritu de disfrutar y compartir.

Así también a todas las personas que creyeron en mí y me brindaron palabras de aliento y apoyo para seguir con mi sueño y nunca desfallecer.

1 Introducción

En base a las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) reportan en Ecuador una superficie cosechada de maíz (*Zea mays* L.) de 365.334 hectáreas, con un rendimiento promedio de 4,58 toneladas por hectárea y una producción de 1.479.700 toneladas anuales, por ello a pesar del incremento de rendimiento de grano en los últimos años, los productores de maíz demandan nuevas tecnologías en cuanto a producción y una mayor integración entre los diversos actores de la cadena productiva con la industria y consumidores finales, así pues el región Sierra, el maíz se caracteriza por su gran diversidad de tipos, colores, texturas y formas; así como también, por un sostenido incremento en el consumo directo en grano seco y choclo, así pues una de las principales limitantes del cultivo en la Sierra es su bajo rendimiento, con 1,63 t ha⁻¹ en grano tierno (FAO, 2021).

En Ecuador se da una demanda para la producción de maíz suave o amiláceo que se produce en la Sierra, cuya superficie sembrada corresponde a 74.018 ha, en altitudes sobre los 2.000 msnm., sin embargo, a pesar de haber incrementado su rendimiento en los últimos años, este sigue siendo bajo, por esta razón los agricultores buscan incrementar la demanda de dicho maíz ya que con ello garantizar una devolución del capital invertido en insumos para una producción en masa (Caviedes et al., 2020).

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la sierra ecuatoriana es uno de los cultivos más importantes a nivel nacional debido a la magnitud de extensión en cuanto al territorio destinado para su producción, por lo cual se garantiza la soberanía alimentaria a todas las familias del Ecuador. Es por ello que se categoriza a la producción de maíz como un cultivo que anualmente tiene un incremento estadístico de producción y demanda significativo, por lo cual agricultores nacionales buscan satisfacer la demanda del mismo con el empleo de tecnologías que faciliten el proceso de producción del mismo para llevarlo a la mesa de todas las familias ecuatorianas (Valverde, 2015).

Uno de los desafíos más grandes que los agricultores de Azuay tienen al cultivar maíz (*Zea mays* L.) se sitúa principalmente en la imposibilidad de lograr un control de malas hierbas y laboreo durante todo el ciclo vegetativo, que incluya también el deshierbe y aporque eficiente y rentable. De esta forma, al usar herramientas manuales convencionales como el pico o la azadilla, se presentan problemáticas relacionadas en cuanto al tiempo de ejecución, como un eficiente uso de la mano de obra para labores de campo; por el contrario, promover un uso de nuevas diseñadas explícitamente para resolver estas problemáticas, por ejemplo, regular el trabajo en campo y, especialmente, el esfuerzo físico demandado a los agricultores. Por lo

tanto, la implementación de tales innovaciones en cuanto a creación y diseño de nuevas herramientas manuales, puesto que esto parece ser una alternativa posible para aumentar la eficiencia de trabajo y, por consiguiente, reducir los costos asociados a la producción (Boada & Espinosa, 2016).

En la actualidad se busca de manera investigativa la recopilación de trabajos direccionados a metodologías y técnicas de labranza eficientes y exequibles para pequeños y medianos agricultores y productores a nivel de todo el país (Freire C, 2018). Principalmente enfocadas a actividades de preparación de suelo y diferenciación de tipos de labranza en el país, mismos que determinan la importancia de estudiar de forma comparativa el uso de diferentes herramientas manuales tradicionales con herramientas que realicen la misma labor en menor tiempo, optimizando el trabajo y reflejándolo en los costos de producción de cultivos específicos. Esto se lo debe realizar con el objetivo de diversificar y establecer tecnologías apropiadas de labranza de suelo que promoverán condiciones adecuadas para el desarrollo de cultivos netamente productivos, así como el cambio en los hábitos de producción convencionales (Sánchez et al., 2014). Esto permitirá generar herramientas basadas en la eficiencia agrícola y además originaría ventajas en las dimensiones ambientales, técnicas, ecológicas y socioeconómicas.

2 Objetivos

2.1 General:

Analizar la eficiencia de una herramienta manual para deshierbe y aporque en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Nero, Azuay.

2.2 Específicos:

- Comparar las características del suelo antes y después de la producción del cultivo de maíz.
- Evaluar el comportamiento fenológico del cultivo de maíz en tres densidades de siembra.
- Estimar los costos de producción obtenidos del rendimiento del cultivo de maíz en uso de la herramienta manual frente a herramientas tradicionales.

3 Revisión de bibliografía

3.1 Evolución histórica de las herramientas agrícolas

La evolución histórica de las herramientas agrícolas presenta un recorrido por la creatividad humana a lo largo de su intento de producir de manera más eficiente la alimentación. Iniciando desde las labores primarias de la civilización, a partir de las cuales ha desarrollado diversos tipos de herramientas para complementar deferentes actividades, puesto que, en las primeras sociedades agrícolas, las herramientas eran extremadamente primitivas y se producían principalmente con los materiales localmente disponibles, como la madera, la piedra, el hueso, entre otros. Eso incluía arados de madera tirados por animales, azadas de piedra para la labranza de la tierra y hoces de hierro para la cosecha (Bill, 2009).

De esta manera, con el paso del tiempo y el avance de la tecnología, las herramientas agrícolas experimentaron una notable evolución, así durante la Edad Media, se introdujeron mejoras significativas en la fabricación de herramientas agrícolas, como la adopción de hierro forjado en la construcción de arados y hoces, lo que aumentó su durabilidad y eficiencia, así también la invención de la rueda y su aplicación en la maquinaria agrícola, como los carros de transporte y las trilladoras, marcó otro hito en la evolución de las herramientas agrícolas, permitiendo una mayor capacidad de carga y desplazamiento de productos agrícolas (Rojas, 2016).



Fuente: (La Anticuaria, 2024)

Figura 1. Herramientas agrícolas antiguas

3.1.1. Mecanización agrícola a nivel mundial

Presente en la actualidad a nivel mundial, la mecanización agrícola ha experimentado un avance significativo, impulsado por la necesidad de aumentar la eficiencia y la productividad en el sector agrícola, mediana o grande, es por ello que la incorporación de maquinaria

especializada, como tractores, cosechadoras, sembradoras y equipos de riego automatizados, ha permitido optimizar el uso de recursos como el tiempo, el agua y la energía, además de reducir la dependencia de mano de obra manual, de tal manera esta tendencia hacia la mecanización no solo se observa en grandes explotaciones agrícolas, sino también en unidades de producción de menor escala, donde la adopción de tecnología agrícola moderna se considera clave para mejorar la rentabilidad y la sostenibilidad del sector agrícola (Ceconello et al., 2021).

3.1.2. Mecanización agrícola en Ecuador

En un contexto general, la mecanización agrícola ha experimentado un crecimiento gradual en las últimas décadas, aunque aún se enfrenta a desafíos significativos en términos de adopción y acceso generalizado a tecnologías modernas. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), en 2020, aproximadamente el 22% de las unidades de producción agrícola en el país utilizaban algún tipo de maquinaria agrícola, lo que representa un aumento en comparación con años anteriores, sin embargo, este porcentaje sigue siendo relativamente bajo en comparación con otros países de la región (Pérez et al., 2017).

La mecanización agrícola en Ecuador se concentra principalmente en cultivos de exportación como el banano y la caña de azúcar, donde se utilizan tractores, cosechadoras y equipos de riego automatizado para optimizar la producción. Sin embargo, en cultivos de importancia alimentaria como el maíz, el acceso a maquinaria moderna sigue siendo limitado, especialmente en áreas rurales y en unidades de producción de pequeña y mediana escala. Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), solo alrededor del 15% de las áreas cultivadas de maíz en el país se benefician de la mecanización agrícola (Loor-Sácido et al., 2019).

Los principales desafíos que enfrenta la mecanización agrícola en Ecuador incluyen la falta de acceso a crédito para la adquisición de maquinaria, la escasez de mano de obra calificada para operar equipos modernos y la falta de infraestructura adecuada para el mantenimiento y reparación de maquinaria agrícola, así pues, existen diferencias regionales en la adopción de tecnologías mecanizadas, con áreas de la costa y sierra del país que muestran un mayor nivel de mecanización en comparación con la región amazónica, mediante estos desafíos se resaltan las necesidades de políticas y programas específicos para promover una mayor mecanización agrícola en Ecuador, con el fin de mejorar la eficiencia, la productividad y la competitividad del sector agrícola en el país (Fiala y Márquez, 2020).

3.2 Labranza en el Ecuador

En Ecuador, la labranza del suelo con el uso de maquinaria agrícola ha experimentado un crecimiento gradual en los últimos años, especialmente en cultivos de exportación y en grandes explotaciones agrícolas, por ende en la labranza mecanizada se lleva a cabo principalmente con arados y rastras arrastrados por tractores, lo que permite una preparación más eficiente y uniforme del suelo para la siembra, esta práctica ha podido demostrar ser beneficiosa sobre todo en regiones como la costa ecuatoriana, donde se cultivan cultivos como el banano y el cacao en grandes extensiones de terreno, de esto la mecanización de la labranza ha contribuido a aumentar la productividad y reducir los costos de producción al minimizar la dependencia de la mano de obra manual y mejorar la calidad del suelo (Intriago Mendoza, 2019).

Sin embargo, en áreas de producción agrícola de menor escala y en zonas montañosas de la sierra ecuatoriana, la adopción de la labranza mecanizada es limitada debido a factores como la topografía accidentada, la disponibilidad de maquinaria adecuada y los costos asociados, en estas regiones, la labranza sigue siendo en gran medida manual, utilizando herramientas tradicionales como azadas y palas, por ello a pesar de los avances en mecanización agrícola, la labranza manual sigue desempeñando un papel importante en la agricultura de subsistencia y en la conservación de la biodiversidad en áreas de alto valor ecológico, por ello en este contexto, es importante buscar un equilibrio entre la adopción de tecnologías mecanizadas y el mantenimiento de prácticas agrícolas sostenibles que respeten y protejan el medio ambiente y los medios de vida de las comunidades rurales en Ecuador (Loor-Sácido et al., 2019).

3.2.1 Labranza tradicional en la sierra ecuatoriana

En todo el Ecuador, la labranza tradicional sigue desempeñando un papel crucial en la producción agrícola, especialmente en los cultivos de mayor relevancia para la seguridad alimentaria de la región. Por ello, la labranza manual, llevada a cabo con herramientas tradicionales como azadas y palas, es común en las pequeñas y medianas explotaciones agrícolas de la sierra, donde se cultivan cultivos básicos como papas, maíz, cebada y habas, pues estas herramientas permiten a los agricultores preparar el suelo de forma minuciosa, adaptándose a las particularidades de las parcelas en terrenos montañosos y a menudo irregulares (Valverde et al., 2019).

Los agricultores de la sierra ecuatoriana han desarrollado técnicas de labranza adaptadas a las condiciones únicas de altitud, clima y suelo de la región, de tal manera la rotación de cultivos y la siembra intercalada son prácticas comunes que ayudan a maximizar el

rendimiento de la tierra y a conservar la fertilidad del suelo, así pues, la labranza tradicional se complementa con el uso de abonos orgánicos, como estiércol de animales y compost, que son fundamentales para mantener la productividad agrícola a largo plazo y preservar la biodiversidad en los agroecosistemas de la sierra ecuatoriana, de esto aunque la labranza tradicional puede ser intensiva en mano de obra y limitada en escala, sigue siendo una parte integral de la identidad cultural y la subsistencia de las comunidades rurales de la sierra de Ecuador(52952.pdf, s. f.) Valverde et al., 2004).

3.2.2 Situación actual de la mecanización agrícola en la sierra ecuatoriana

La mecanización agrícola enfrenta desafíos específicos debido a las características geográficas y sociales de la región, de esto si bien se ha observado un aumento en la adopción de tecnologías mecanizadas en algunas áreas, especialmente en grandes explotaciones agrícolas y en cultivos de exportación como las flores y las hortalizas, la mecanización aún no está tan extendida como en otras regiones del país, además la topografía montañosa y accidentada de la sierra presenta obstáculos para la operación de maquinaria agrícola, lo que limita su uso en áreas de difícil acceso y terrenos escarpados, así como también la fragmentación de la propiedad de la tierra en la sierra ecuatoriana, con un alto porcentaje de pequeñas y medianas unidades de producción agrícola, dificulta la inversión en maquinaria costosa y tecnología agrícola avanzada (Rebaï, 2011).

A pesar de estos desafíos, se están implementando iniciativas para promover una mayor mecanización agrícola en la sierra ecuatoriana, con el objetivo de aumentar la productividad, mejorar la eficiencia y reducir la dependencia de la mano de obra, de esta manera, los programas gubernamentales y proyectos de desarrollo agrícola están proporcionando acceso a créditos, capacitación técnica y subsidios para la adquisición de maquinaria agrícola, especialmente para cooperativas y asociaciones de agricultores. Además, se están desarrollando tecnologías específicas adaptadas a las condiciones de la sierra, como tractores y arados diseñados para operar en terrenos inclinados y sistemas de riego eficientes para optimizar el uso del agua en la agricultura de montaña. Estas iniciativas buscan mejorar la competitividad del sector agrícola en la sierra ecuatoriana y contribuir al desarrollo sostenible de las comunidades rurales en la región (Sims et al., 2008).

3.3 Herramientas tradicionales de la agricultura ecuatoriana

Desde la antigüedad, las herramientas tradicionales de agricultura han sido fundamentales para las comunidades rurales durante siglos, adaptándose a las diversas condiciones geográficas y culturales del país. Una de las herramientas más emblemáticas es la "chakana" o "taclla", una azada de origen prehispánico utilizada principalmente en la sierra ecuatoriana,

dicha herramienta, con su diseño simple pero efectivo, permite a los agricultores cavar y labrar el suelo de manera eficiente en terrazas agrícolas y terrenos montañosos, donde la maquinaria moderna no es práctica, de esta manera la chakana sigue siendo una herramienta esencial en la agricultura de subsistencia de la sierra, donde los agricultores la utilizan para cultivar una variedad de cultivos, incluyendo papas, maíz y habas (Morales, 2002).

Su diseño simple pero efectivo permite a los agricultores trabajar de manera eficiente en terrenos inclinados, cavando surcos para la siembra y rompiendo terrones de tierra compacta, la azada se caracteriza por una cabeza de hierro o acero en forma de pala, montada en un mango largo de madera, que permite al agricultor ejercer fuerza y control sobre la herramienta mientras trabaja en el campo, de esto a pesar del avance de la mecanización agrícola, la azada sigue siendo una herramienta indispensable para los agricultores de la sierra ecuatoriana, quienes han desarrollado habilidades expertas en su manejo y la consideran parte integral de su patrimonio cultural y productivo (García, 2017).



Fuente: EcuRed, 2024

Figura 2. Herramientas agrícolas tradicionales

3.3.1 La chakana, azada o azadón

La chakana, azada o azadón, es una herramienta icónica en la agricultura de la sierra ecuatoriana, con características físicas que la hacen especialmente adecuada para trabajar en terrenos montañosos y en condiciones agrestes, ya que esta herramienta se distingue por su cabeza de hierro o acero, que tiene forma de pala en un extremo y un filo afilado en el otro, el mango, generalmente hecho de madera resistente, proporciona un agarre firme y cómodo para el agricultor durante el trabajo en el campo, su longitud varía según las preferencias del usuario y la tarea específica a realizar, pero suele oscilar entre 1 y 1.5 metros, así como un peso que oscila entre 1,5 a 3 kg (Figura. 3), de esto la combinación de una cabeza robusta y

un mango largo permite a los agricultores ejercer fuerza y control mientras trabajan la tierra, rompen terrones y crean surcos para la siembra (Cruz et al, 2018).

En muchas comunidades de agricultores en la sierra ecuatoriana, la chakana o azada es una herramienta ampliamente utilizada, siendo prácticamente omnipresente en muchas comunidades rurales, mediante estudios realizados por organizaciones agrícolas y gubernamentales, se estima que más del 80% de las unidades de producción agrícola en la sierra ecuatoriana dependen de la azada como su principal herramienta de labranza, es por ello que este alto porcentaje de uso se debe a la versatilidad, durabilidad y asequibilidad de la chakana o azada, así como a la adaptación de esta herramienta a las condiciones específicas de la agricultura de montaña, pero a pesar de los avances en la mecanización agrícola, la azada sigue siendo indispensable para los agricultores de la sierra ecuatoriana, siendo valorada no solo por su utilidad práctica, sino también por su arraigo cultural y su papel en la identidad agrícola de la región (Gonzales Cobas, 2021).



Fuente: (Cruz et al, 2018)

Figura 3. Dimensiones de la chakana o azada tradicional

3.4 Herramientas manuales con uso de mecanización agrícola en Ecuador

Con el avance de la tecnología así como el incremento de satisfacer la demanda de producción agrícola actual, ha incentivado el diseño de herramientas manuales para labores agrícolas, es por ello que en Ecuador se han creado pautas o bases para el diseño y modificación de herramientas manuales tradicionales usadas en las labores culturales del campo, de esta manera se enfoca en la eficiencia, la ergonomía y la sostenibilidad del trabajo de los agricultores del Ecuador, en donde los ingenieros agrónomos y diseñadores están desarrollando herramientas que se adapten a las condiciones específicas del país, considerando factores como la topografía variada, los diferentes tipos de suelo y las

necesidades de los agricultores locales, de ello es preciso mencionar algunos ejemplos destacado es el diseño de azadas y palas con mangos ergonómicos y materiales livianos pero duraderos, que reducen la fatiga y el riesgo de lesiones musculoesqueléticas durante largas jornadas de trabajo en el campo (Cortez, 2009).

Además, se están incorporando características innovadoras en las herramientas manuales para mejorar su funcionalidad y versatilidad. Por ejemplo, algunas azadas ahora vienen equipadas con bordes dentados o intercambiables que facilitan la tarea de romper terrones y remover malezas, del mismo modo, las palas están siendo diseñadas con formas y tamaños específicos para diferentes tipos de suelo y cultivos, permitiendo una mayor eficiencia en la preparación del suelo y la siembra, de esta manera los avances en el diseño de herramientas manuales están contribuyendo a mejorar la productividad y la calidad de vida de los agricultores en Ecuador, al tiempo que promueven prácticas agrícolas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente así como la mano de obra de agricultores (Pérez et al., 2020).

3.4.1 Surcadora y aporcadora manual

Se ha dado paso al diseño y construcción de una surcadora manual diseñada en Azuay, esta herramienta ha sido diseñado con un enfoque en la durabilidad y la facilidad de uso, en donde se ha pensado en optimizar el tiempo y mano de obra de los agricultores pequeños y medianos, principalmente con la finalidad de realizar un trabajo específico en diversos cultivo de interés, por ejemplo permite al usuario realizar surcos en el suelo con precisión y sin demasiado esfuerzo, así como realizar un aporque en cultivos donde se amerite esa labor cultural por ejemplo, en el cultivo de maíz o papa, el enfoque para su diseño, está centrado en ser compacto y ligero, lo cual facilita su transporte y almacenamiento, lo que lo convierte en una herramienta práctica para agricultores de diferentes regiones y niveles de experiencia.

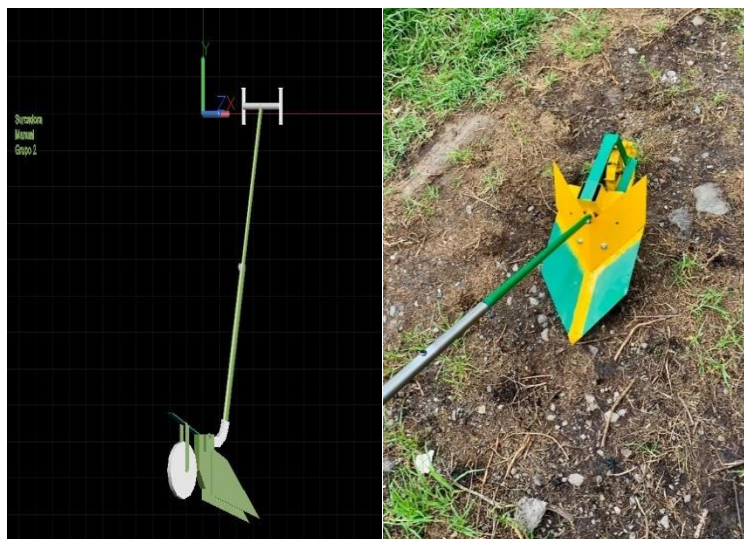
La surcadora manual esta para ser probada en una variedad de cultivos, incluyendo maíz, habas, papas y hortalizas, esto gracias a su capacidad para crear surcos uniformes y bien definidos la hace especialmente adecuada para la siembra directa de semillas, así como para la preparación de camas de siembra en terrenos de pequeña y mediana escala, además, su diseño permite a los agricultores, realizar otras labores específicas como el control de malezas en el deshierbe del cultivo, realizar un aporque adaptando la profundidad del cultivo, lo que contribuye a una siembra más eficiente, un deshierbe rápido y un aporque más profundo, lo que conlleva a optimizar recursos y minimizar el tiempo de trabajo en campo, mediante estas características hacen de la surcadora manual un instrumento valioso para

mejorar la productividad y la rentabilidad en la agricultura ecuatoriana, promoviendo al mismo tiempo prácticas agrícolas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente.

3.4.2 Diseño y características de la surcadora manual

La surcadora manual diseñada ha sido desarrollada con una combinación de ingeniería moderna y conocimientos tradicionales de agricultura, lo cual ha sido fabricada con materiales resistentes y duraderos, como acero o hierro, esta herramienta presenta un diseño ligero lo cual facilite su manipulación, puesto que sus dimensiones se ajustan a las necesidades del usuario y dependerá del cultivo para el cual se destine, su extensión puede oscilar entre 1,5 a 2 metros de largo y una cuchilla de surco de alrededor de 25 a 40 centímetros de longitud, lo que permite crear surcos uniformes en el suelo con una profundidad de hasta 15 centímetros, dependiendo de las especificaciones de siembra de cada cultivo.

Se destacan sus principales características, por ejemplo, un mango ergonómico diseñado para proporcionar un agarre cómodo y seguro, minimizando la fatiga durante su uso prolongado en el campo, la cuchilla de surco puede ajustarse para modificar la profundidad y el ancho de los surcos, esto mediante previo diseño, adaptándose así a diferentes tipos de suelo y requerimientos de siembra, su diseño innovador ha podido garantizar un efectivo trabajo en campo, lo cual fácilmente con un correcto impulso pueda convertirse en una herramienta indispensable para la preparación del suelo, la siembra y aporque de muchos cultivos de interés en las diversas regiones agrícolas de Ecuador.



Fuente: Jonattan Naula, 2024

Figura 4. Surcadora manual

3.5 Cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el Ecuador

En base a las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) reportan en Ecuador una superficie cosechada de maíz (*Zea mays* L.) de 365.334 hectáreas, con un rendimiento promedio de 4,58 toneladas por hectárea y una producción de 1.479.700 toneladas anuales, por ello a pesar del incremento de rendimiento de grano en los últimos años, los productores de maíz demandan nuevas tecnologías en cuanto a producción y una mayor integración entre los diversos actores de la cadena productiva con la industria y consumidores finales, así pues el región Sierra, el maíz se caracteriza por su gran diversidad de tipos, colores, texturas y formas; así como también, por un sostenido incremento en el consumo directo en grano seco y choclo, así pues una de las principales limitantes del cultivo en la Sierra es su bajo rendimiento, con 1,63 t ha⁻¹ en grano tierno (FAO, 2021).

Según Meléndez et al. (2021), el maíz, junto con el arroz y la soya, es un cultivo estratégico para satisfacer la creciente demanda de alimentos y de material lignocelulósico requerido por la industria de los biocombustibles.

3.5.1 Rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Ecuador

Para tener una idea general, se puede observar que en el año 2021 se sembraron 355 mil hectáreas de maíz, con una producción estimada de 1.38 millones de toneladas. Del total producido, aproximadamente el 78-80% corresponde a maíz duro y el 20-22% a maíz suave. En cuanto al rendimiento promedio, se destaca que los híbridos de maíz amarillo duro en la Costa y Amazonía alcanzan un rendimiento promedio de 4.64 toneladas por hectárea, mientras que, en la Sierra, las variedades de maíz de libre polinización de grano suave o harinoso tienen un rendimiento promedio de 0.82 toneladas por hectárea (SIPA, 2021).

En la Sierra del Ecuador, en cultivo de maíz (*Zea mays* L.), es uno de los cultivos más importantes a nivel nacional debido a la extensión de territorio destinado para su producción, de esta manera se garantiza la soberanía alimentaria a todas las familias del Ecuador, por ello, se categoriza a la producción de maíz como un cultivo que anualmente tiene un incremento estadístico de producción y demanda significativo, por lo cual agricultores nacionales buscan satisfacer la demanda del mismo con el empleo de tecnologías que faciliten el proceso de producción del mismo para llevarlo a la mesa de todas las familias ecuatorianas (Valverde, 2015).

La distribución de las variedades de maíz (*Zea mays* L.), más cultivados en la provincia de la Sierra en Ecuador, se debe a los gustos y costumbres de los agricultores, Así en la Sierra

norte (Carchi, Imbabura, Pichincha) se consume maíz de tipo amarillo harinoso, en la parte central (Tungurahua, Chimborazo y Bolívar), se cultivan variedades del tipo blanco harinoso y en la sierra sur (Cañar y Azuay) maíz denominado “Zhima” blanco amorochado o amiláceo (Obando, 2019).

3.5.2 Labranza en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.)

El sistema tradicional de labores de preparación del suelo utilizado por los productores en Ecuador, particularmente en la Sierra, remueve el suelo con el objetivo de preparar los surcos de siembra y eliminar malezas. Los argumentos expuestos para defender la LC son de diferente naturaleza, puesto que se considera esta forma de manejo del suelo necesaria para promover la aireación, evitar la compactación y formar una adecuada cama de siembra en el posterior desarrollo del cultivo (Boada & Espinosa, 2017).

3.5.3 Sistema de labranza de maíz (*Zea mays* L.) en la sierra ecuatoriana

El sistema de labranza en el cultivo de maíz en la sierra ecuatoriana se adapta a las características únicas de esta región montañosa; por lo general, se emplea un enfoque de labranza mínima o conservacionista, que busca reducir al mínimo la perturbación del suelo y preservar su estructura y fertilidad. Esto se logra mediante prácticas como la siembra directa y el uso de cobertura vegetal, que ayudan a proteger el suelo de la erosión, mejorar su infiltración de agua y mantener la biodiversidad microbiana. Además, se utiliza la rotación de cultivos y la asociación de cultivos para optimizar el uso de los recursos disponibles y reducir la presión de plagas y enfermedades. Este enfoque de labranza sostenible no solo contribuye a la conservación del suelo y los recursos naturales, sino que también promueve la resiliencia del agroecosistema frente a condiciones climáticas adversas y variabilidad climática en la sierra ecuatoriana (López et al., 2010).

3.5.4 Situación actual del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el Azuay

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) enfrenta diversos desafíos que afectan su producción y rentabilidad. Una de las principales limitantes es la disponibilidad y acceso al agua, especialmente en áreas donde el riego es indispensable para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), por ejemplo, la escasez de agua y la competencia con otros sectores, como la industria y el abastecimiento de agua potable para la población, limitan la expansión y el desarrollo de la agricultura de maíz en la región. Además, la presión de plagas y enfermedades, así como la falta de prácticas agrícolas sostenibles, pueden afectar la productividad y la calidad del maíz cultivado en Azuay (Peñaherrera, 2011).

Según estadísticas del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de Ecuador, las áreas de producción de maíz en Azuay se concentran principalmente en las zonas rurales y periurbanas de la provincia. Aunque no se dispone de datos específicos sobre la superficie total dedicada al cultivo de maíz en Azuay, se estima que esta cifra representa una parte significativa de la actividad agrícola en la región. Sin embargo, la producción de maíz en Azuay tiende a ser variable y está sujeta a factores como las condiciones climáticas, los precios de los insumos agrícolas y la demanda del mercado. Para abordar estos desafíos y promover el desarrollo sostenible del cultivo de maíz en Azuay, es fundamental implementar políticas y programas que fomenten la adopción de prácticas agrícolas innovadoras, el acceso a tecnologías apropiadas y la gestión eficiente de los recursos naturales (Yáñez, 2013).

3.5.5 Sistema tradicional de cultivo de maíz en Azuay

En Azuay, el cultivo tradicional de maíz sigue siendo una práctica arraigada en la cultura agrícola de la región. Los agricultores suelen utilizar métodos ancestrales de siembra, como la rotación de cultivos y la asociación con otras plantas, para aprovechar al máximo los recursos disponibles y mejorar la salud del suelo, además, se emplean técnicas de labranza mínima que buscan conservar la estructura del suelo y prevenir la erosión, como la siembra en terrazas o en curvas de nivel en las laderas de las montañas, la mano de obra familiar juega un papel crucial en el cultivo de maíz en Azuay, con toda la familia participando en actividades como la siembra, el deshierbe y la cosecha, lo que refleja la importancia cultural y social del maíz en la vida de las comunidades rurales de la provincia (Félix, 2020).

Las comunidades rurales suelen dedicar parcelas de tierra a la siembra de maíz para consumo familiar y venta local, mientras que en algunas zonas periurbanas y llanuras aluviales se han establecido explotaciones agrícolas comerciales que cultivan maíz a gran escala para abastecer el mercado regional y nacional, es por esta razón que la diversidad de sistemas de cultivo refleja la importancia del maíz como cultivo estratégico en la economía agrícola de Azuay, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al sustento de las comunidades rurales en la provincia (Noguera et al., 2004).

3.5.6 Mano de obra utilizada en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Azuay

En Azuay, la mano de obra desempeña un papel crucial en todas las etapas del proceso agrícola, pues las labores culturales, que incluyen la preparación del suelo, la siembra, el deshierbe, aporque y la cosecha, requieren una cantidad significativa de mano de obra, que suele ser proporcionada por la familia agrícola y trabajadores temporales contratados en temporada alta, puesto que los agricultores y sus familias participan activamente en estas

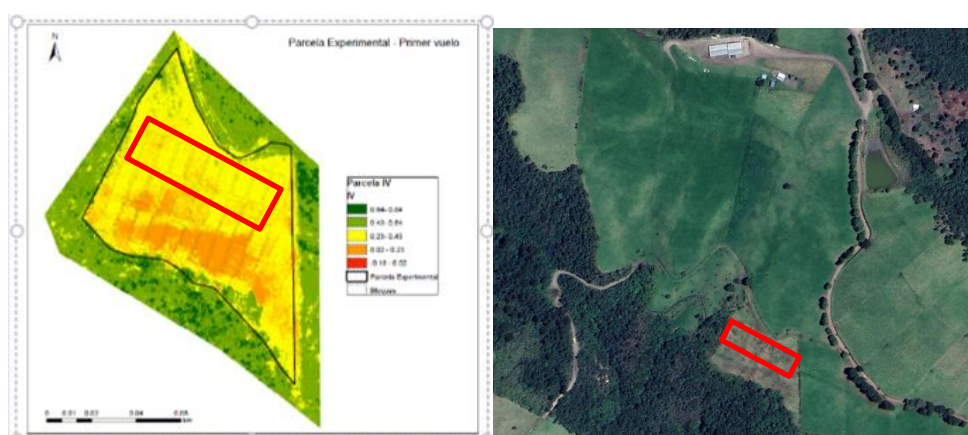
labores, trabajando en conjunto para completar las tareas en el momento oportuno y garantizar el éxito del cultivo de maíz (Valle, 2013).

La mano de obra utilizada en las labores culturales del cultivo de maíz en Azuay refleja la importancia del trabajo colectivo y la colaboración comunitaria en la agricultura de la región, dichas prácticas agrícolas tradicionales fomentan la solidaridad y la reciprocidad entre los agricultores, quienes se apoyan mutuamente en momentos de mayor demanda de trabajo, como durante la siembra y la cosecha. Además, la mano de obra familiar en el cultivo de maíz no solo garantiza la disponibilidad de mano de obra calificada y comprometida, sino que también fortalece los lazos familiares y la transmisión intergeneracional de conocimientos y valores relacionados con la agricultura en Azuay (Houtart, 2014).

4 Materiales y métodos

4.1 Área de estudio

La investigación se realizó en la Hacienda de Nero de la Universidad de Cuenca, de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, la cual se localiza al sur occidente del cantón Cuenca, provincia del Azuay, en la parte sur del Ecuador, donde se presenta una altitud comprendida de 3116 msnm, con precipitaciones anuales que oscilan entre los 500 mm y 2000 mm, con una temperatura que fluctúa entre 12°C a 23°C, donde se pueden alcanzar unos 30°C entre los meses de noviembre a febrero y la mínima entre los 4°C entre los meses de marzo a julio con una humedad variante entre 65% y 85%. Se presentan coordenadas geográficas UTM X:710210 y Y: 9673181, con una extensión determinada de 1000 m².



Fuente: Jonattan Naula, 2023

Figura 5. Mapa ubicación Granja Nero, Azuay

4.2 Establecimiento de cultivo

4.2.1 Contexto físico del área de estudio

El uso del suelo en donde se implementó el presente estudio se encontraba en descanso, ya que previamente fue utilizado para un proyecto de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la carrera de Ingeniería Agronómica, por ello el área se encontraba cubierta de maleza en su totalidad, así también se tenía la presencia de Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). El área de estudio tenía un sistema de riego, pero se encontraba sin funcionamiento por rotura de tuberías.

4.2.2 Delimitación de terreno

Para llevar a cabo la experimentación se necesitó 1000m² de terreno del área mencionada con anterioridad, para lo cual se tomó como punto base el acceso al área de estudio y se trazó de manera horizontal y paralela a las curvas de nivel, lo cual determinó una longitud de 50m de largo por 20m de ancho respectivamente, en donde se optó por tomar el área comprendida en un rango de 10 a 20% de pendiente, que no dificulte el trabajo en campo y pueda significar diferencias entre las distintas unidades experimentales.

4.2.3 Preparación de suelo

La preparación del suelo se llevó a cabo el 15 de octubre del 2023, en donde se optó por usar un tractor con rastra de disco para la preparación de suelo, ya que el terreno presentaba una en su totalidad maleza. Para el volteo del suelo y cruce del mismo, llevó un tiempo de 3,5 horas. Al ser un terreno en descanso, se procedió a realizar un retiro del Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) presente en el área de estudio y destroce de terrones de gran tamaño con la ayuda de una azada normal, con la finalidad de tener un terreno uniforme para proceder a realizar la división de camas y la respectiva siembra de maíz (*Zea mays* L.) Var. Zhima.

4.2.4 División de parcelas experimentales

En el presente estudio se comparó la eficiencia del uso de una herramienta tradicional como la azada (T1), frente a un surcador manual rediseñado (T2), se distribuyeron las parcelas experimentales de manera al azar para llevar a cabo las labores culturales como un primer deshierbe (1er deshierbe), así como un segundo deshierbe y apoque (2do des/apo), respectivo en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), por ende, se optó por realizar el siguiente diseño:

El área de estudio fue dividida en 30 parcelas experimentales, las cuales tienen 7,86m de largo, por 3,52m de ancho respectivamente en cada unidad (Tabla 1). Entre las parcelas experimentales existe un camino de 0,40 m entre las parcelas, así como cada parcela se encuentra aplicado cada tratamiento T1 (azada) y T2(surcadora), así como determinada para cada densidad determinada d1(0,50m, d2(0,75), d3 (1 m).

Tabla 1. Diseño y distribución de parcelas experimentales con sus respectivos tratamientos y densidad de siembra en el área de estudio.

T1 (d1)	T1 (d2)	T2 (d2)	T1 (d1)	T2 (d1)	T1 (d3)
T1 (d3)	T2 (d1)	T2 (d3)	T2 (d2)	T1 (d1)	T2 (d3)
T2 (d2)	T1 (d3)	T2 (d3)	T1 (d2)	T2 (d1)	T1 (d2)

T1 (d2)	T2 (d1)	T1 (d1)	T2 (d3)	T1 (d3)	T2 (d2)
T2 (d1)	T1 (d3)	T2 (d3)	T2 (d2)	T1 (d2)	T1 (d1)

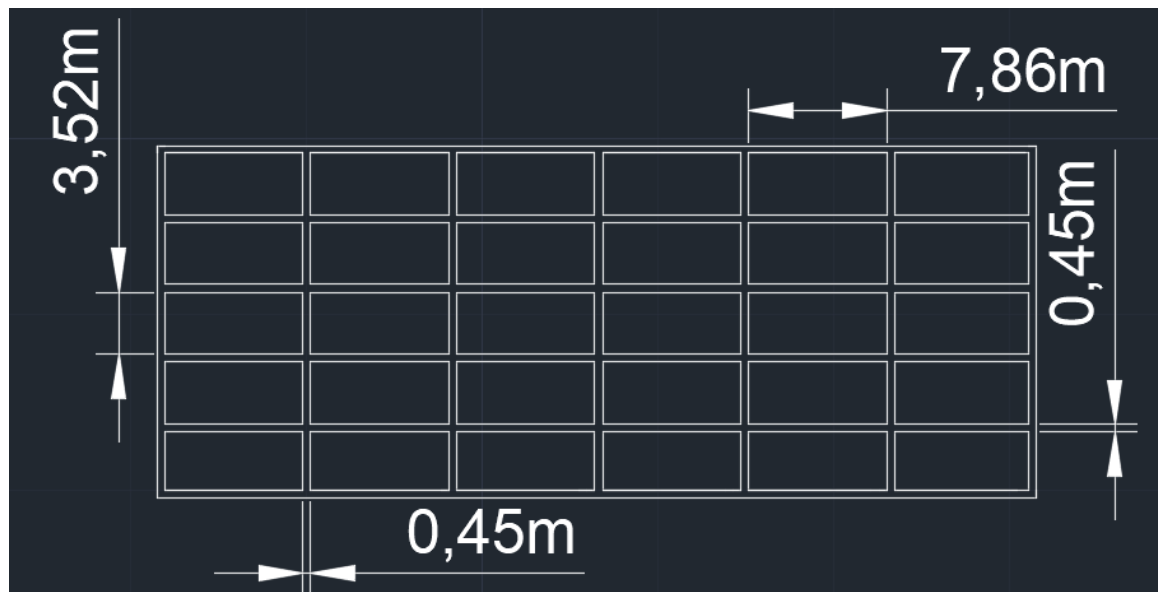


Figura 6. Diseño y distribución de parcelas experimentales

4.2.5 Población y tamaño de muestra

Se seleccionaron al azar de cada parcela experimental 10 plantas para medición de variables para el objetivo específico 2 (altura de plantas, número de hojas, diámetro de tallo) no tomando en consideración las plantas de los extremos para eliminar el efecto borde, para el objetivo específico 1, se tomaron dos muestras de suelo para realizar los análisis de suelo respectivos.

4.2.6 Siembra

La siembra se realizó el 24 de noviembre del 2023, la semilla a sembrar se obtuvo de los agricultores de la zona de estudio con reposo de 1 año respectivamente. Una vez establecidas las parcelas experimentales, se procedió a llevar a cabo la siembra de maíz (*Zea mays* L.) Var. Zhima, para lo cual se realizaron los surcos de manera paralela a la orientación de las parcelas experimentales correspondiente a las distintas densidades de siembra d1 (0,50m), d2 (0,75m), d3 (1 m), entre surcos y a 0,40 cm entre planta, en cada golpe de siembra se colocaron tres semillas de maíz respectivamente. En esta labor se tuvo la intervención de las herramientas de la experimentación, se realizó una siembra convencional como se acostumbra en el sector.

4.2.7 Rediseño surcadora manual

La Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca, mediante la asignatura de Mecanización agrícola realizó el diseño y construcción de un prototipo de surcadora manual (Figura 4.), con la misma se realizaron pruebas en campo y al ser un primer diseño de surcadora, se evidencio fallos en la ejecución de las labores para las cuales fue diseñada, deshierbe y aporque respectivo.

Teniendo como partida un primer prototipo con sus pruebas respectivas se tomó la decisión de realizar un rediseño de esta surcadora manual para realizar esta investigación y ponerla en comparación frente a una herramienta convencional de labranza (azada), de esta manera se optó por corregir las falencias observadas para garantizar un correcto trabajo de esta surcadora al momento de ser implantada como tratamiento en esta presente investigación y no comprometa a conllevar errores significativos en la misma, por ello los principales cambios que se realizaron fueron los siguientes:

- Cambio de rueda para mejor tracción y menos compactación en la ejecución de labor en campo.

- Ángulo de altura ajustable para garantizar mejor ergonomía en trabajo y acoplamiento del operario.

- Mando de timón con mejor sujeción para mayor comodidad a la hora de efectuar el trabajo.

Se pensó también en realizar un cambio en el ángulo de trabajo (surco), este cambio se descartó ya que para el cultivo que se implementó se necesitó un ángulo de 50cm que se asemeja al ángulo de trabajo de la surcadora, pero en futuras investigaciones se puede tomar en consideración el rediseño del ángulo de trabajo pudiendo ser este ajustable a las necesidades del operador



Fuente: Jonattan Naula, 2024

Figura 6. Surcadora manual rediseñada

4.3 Metodología

4.3.1 Metodología objetivo específico 1: Evaluar las características del suelo antes y después de la producción del cultivo de maíz.

Tabla 2. Parámetros del suelo al ser evaluados durante el proyecto de investigación.

Variables Físicas	Variables Biológicas	Variables Químicas
Densidad real	Materia orgánica (%MO)	pH
Densidad aparente		Conductividad eléctrica (C.E)
Porosidad		
Textura		
Infiltración		
Resistencia		

Para la determinación de las diferencias entre las características físicas del suelo (densidad real, densidad aparente, porosidad, textura, infiltración y resistencia), biológica (%MO) y químicas (pH, conductividad eléctrica) se realizarán muestreos en dos etapas distintas de la implementación del cultivo. El muestreo se tomará de la siguiente manera:

-Antes del establecimiento de cultivo (AEC) y al final del aporque (POST/AP), se tomarán las muestras para densidad real y densidad aparente, pH, %MO y CE.

-En el primer deshierbe, y segundo deshierbe, y aporque se tomarán las muestras para infiltración y resistencia.

Las muestras se tomarán al azar en cada unidad experimental, teniendo en cuenta la consideración del marco de error para tomar muestras alteradas e inalteradas con la finalidad de obtener datos correctos.

Los distintos análisis fueron realizados en el Laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad de Cuenca. Para determinar los cambios en las propiedades físicas (densidad aparente, textura, estructura) y químicas (pH, %MO y conductividad eléctrica), se realizaron muestreos de suelo en los momentos mencionados anteriormente

Para el análisis de pH, C.E., %MO, y d.r del suelo se tomo el suelo previamente molido y tamizado por un tamiz número 10 con medida de 2mm, lo cual se lo realizo en cada una de la toma de muestras para dichos análisis.

4.3.1.1 Análisis densidad real

Para determinar la densidad real se utilizó el método del picnómetro, para lo cual se tomó de cada muestra 10gr de suelo se lo coloco en el picnómetro correspondiente y se aforo con agua destilada hasta su límite evitando tener presencia de aire la cerrarse, luego se procedió a pesar cada una de las muestras en los picnómetros respectivos. (Figura 7.)



Figura 7. Método del picnómetro para determinación de densidad real

4.3.1.2 Análisis densidad aparente

Se tomaron muestras inalteradas con anillos de volumen conocido por 2 submuestras en cada unidad experimental, lo cual dio como resultado un total de 60 submuestras en los dos momentos de muestreo (antes de establecimiento de cultivo y final de aporque).

Estas fueron secadas a 105° por 24 horas, posteriormente se tomaron los datos del suelo seco y datos del anillo (altura y radio) para obtener el volumen del anillo. Finalmente, se calculó la densidad aparente utilizando la siguiente fórmula.

$D_a = P/V$ (g/cm³), donde: D_a densidad aparente. P : Peso suelo seco, V : Volumen total.

4.3.1.3 Análisis para determinación de textura

Se tamizó 20g de suelo de la muestra alterada y se secó a 105° por 24 horas, se mezcló el suelo con 20 ml al 4% de hexametáfosfato y se batió durante 15 minutos, el suelo fue colocado en un tamiz de 63 micras. Luego, se realizó un proceso de lavado de las partículas. Las partículas que quedaron en el tamiz fueron consideradas arena y se colocó en una probeta para ser secadas a 105° por 24 horas y el agua se colocó en una probeta de 1000 ml para tomar los respectivos datos. Finalmente, con el uso del hidrómetro, se tomaron los datos a los 50 g, 5 minutos, 2 horas, 16 horas y 24 horas después de introducir las muestras. La estructura se midió basándonos en la guía de la FAO, de forma manual.

4.3.1.4 Análisis para determinación de conductividad eléctrica

Para determinar la conductividad eléctrica se pesó 10 g de suelo seco secado al ambiente, luego se mezcló con 50 ml y agua destilada, posteriormente se batió durante 15 minutos y finalmente, mediante el uso del Conductímetro, se obtuvieron datos de C_e .

4.3.1.5 Análisis para determinación de pH

Para determinar el pH se mezcló 20g de suelo, secado al ambiente, en 50 ml de agua destilada, posteriormente se batió por 15 minutos y, por último, mediante el potenciómetro se tomó los datos de pH.

4.3.1.6 Análisis para determinación % de MO (materia orgánica)

Para determinar el % de MO se pesó 10 g de suelo antes tamizado y se colocó en un crisol, posterior a ello se llevó a secar en la mufla a una temperatura de 400° por 8 horas y, por último, se tomó los datos del suelo seco.

4.3.2 Metodología objetivo específico 2: Evaluar el comportamiento fenológico del cultivo de maíz en tres densidades de siembra

Para evaluar el comportamiento fenológico del cultivo, se optó por llevar a cabo la toma de datos de las variables de respuesta (altura de planta, número de hojas, diámetro de tallo), en tres estadios del cultivo posterior a la siembra del cultivo respectivamente.

La primera toma de datos se llevó a cabo el 28 de diciembre del 2023, en el primer deshierbe, 40 días luego del establecimiento del cultivo, con la ayuda del flexómetro se tomó la altura de la planta, desde la base del tallo hasta la punta del último órgano vegetativo (última hoja en desarrollo), el diámetro del tallo se lo tomó en el cuello de la planta con la ayuda de un calibrador vernier, la segunda toma de datos se realizó en el segundo deshierbe y aporque del cultivo correspondiente al 24 marzo del 2024, luego del primer deshierbe, se procedió de la misma manera a la toma de datos. Finalmente, la última toma de datos se realizó 20 días después del aporque respectivo que se realizó el 10 de abril, todas las plantas evaluadas corresponden a 10 plantas de cada unidad experimental, dando un total de 300 plantas evaluadas.

4.3.3 Metodología para el objetivo específico 3: Estimar la productividad y costos de producción obtenidos en tiempo del uso de la herramienta manual frente a herramientas tradicionales en cultivo de maíz hasta la etapa fenológica de llenado de grano

Para determinar los costos parciales de trabajo, se contemplaron los jornales de trabajo de cada parcela experimental. Esto se contabilizó tomando el tiempo de trabajo(h) realizado en cada unidad experimental de las dos labores culturales realizadas durante el cultivo (deshierbe y aporque).

Así también se contempló tomar en consideración todas las inversiones realizadas durante la ejecución del trabajo de titulación. Para este caso se tomaron en cuenta los siguientes aspectos: costos fijos, costos variables; mediante este análisis se pueden determinar los costos de producción de dicho trabajo en comparación con al sistema tradicional de labranza efectuado por agricultores de la zona. Se tomaron en consideración los siguientes costos:

-Total: Los costos totales son iguales a la suma de los costos en donde se contemplan rubros, desde la preparación del terreno hasta costos variables.

-Utilidad neta: Es la diferencia de los ingresos y los costos totales, para ello se aplicó la siguiente fórmula: $U N = I - C$, donde: $U N$ = Utilidad neta, I = Ingresos y C = Costos.

-Relación Beneficio/Costo: Para el cálculo del beneficio-costo se aplicó la siguiente fórmula.

$RB/C = \text{Ingresos/Costos}$.

5 Resultados

5.1 Características físicas de suelo

5.1.1 Comparación pH, C.E., densidad real y densidad aparente antes del establecimiento del cultivo (AEC) y post-aporque (POST-AP)

Tabla 3. Caracterización del suelo al inicio de la experimentación (Línea Base).

Variables Físicas, Variables Biológicas. Variables Químicas	Valor
Densidad Real	1,96 (gr/cm ³)
Densidad Aparente	0,43 (gr/cm ³)
Porosidad	45,63%
Textura	Franco-Limoso
Materia orgánica (MO)	63,45%
pH	6,35
Conductividad eléctrica (C.E)	0,16 (dS/m)

Con base en los resultados obtenidos para parámetros referentes a suelo, se presenta que, en los estadios, antes del establecimiento del cultivo (AEC) y post aporque (POST/AP), pueden o no presentar diferencias estadísticas significativas en la comparación de todos los parámetros mencionados anteriormente.

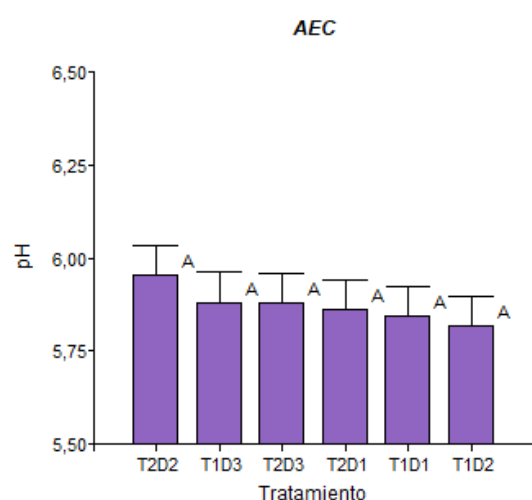


Figura 8. Valores de pH (AEC).

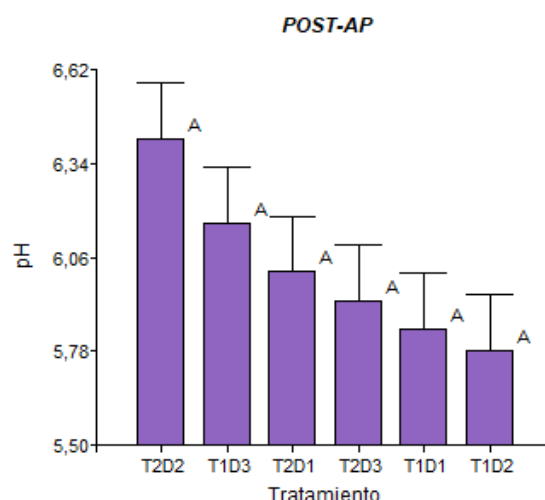


Figura 9. Valores de pH (POST/AP)

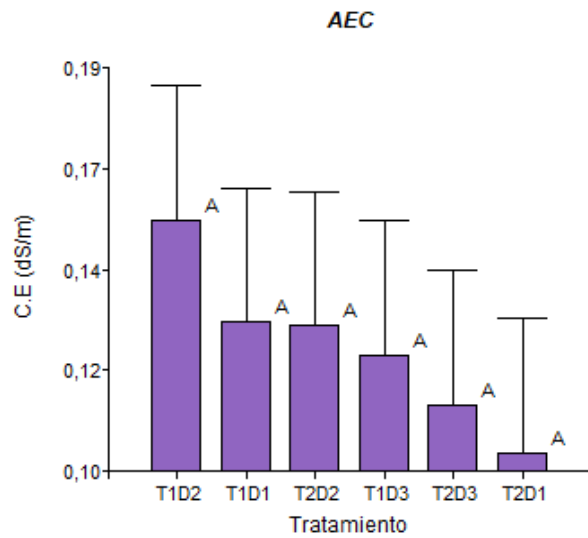


Figura 10. Valores de C.E. (AEC).

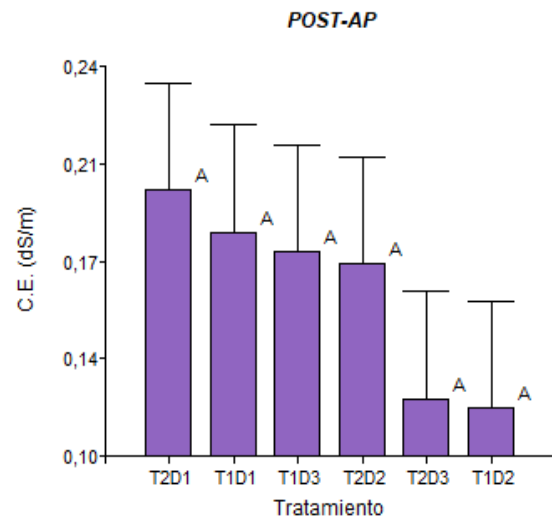


Figura 11. Valores de C.E. (POST/AP).

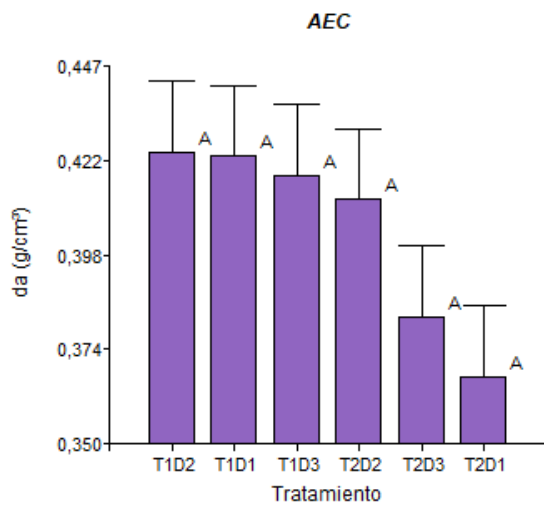


Figura 12. Valores de d.a (AEC).

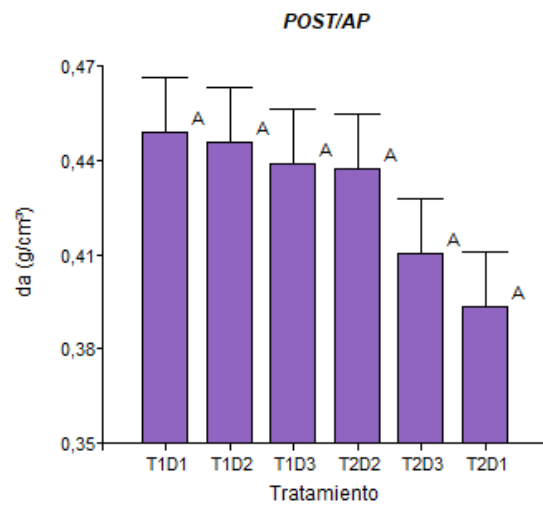


Figura 13. Valores de d.a (POST/AP).

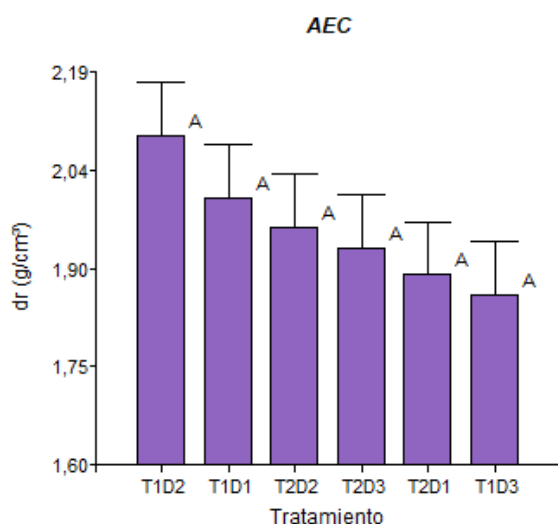


Figura 14. Valores de d.r (AEC).

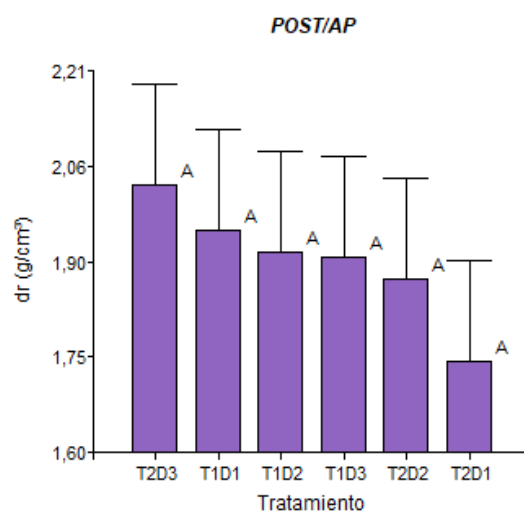


Figura 15. Valores de d.r (POST/AP).

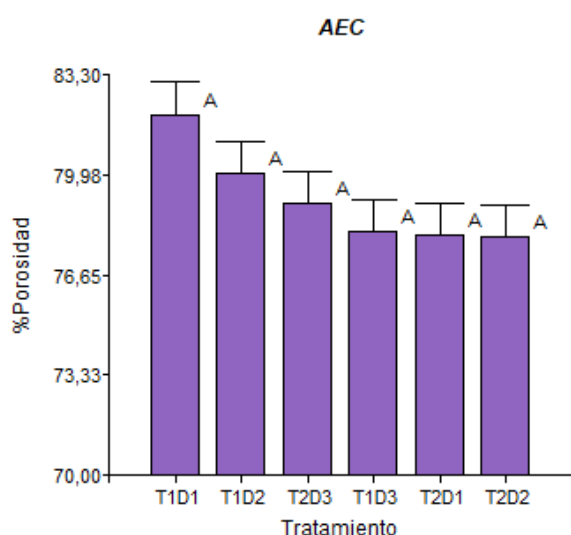


Figura 16. % Porosidad (AEC).

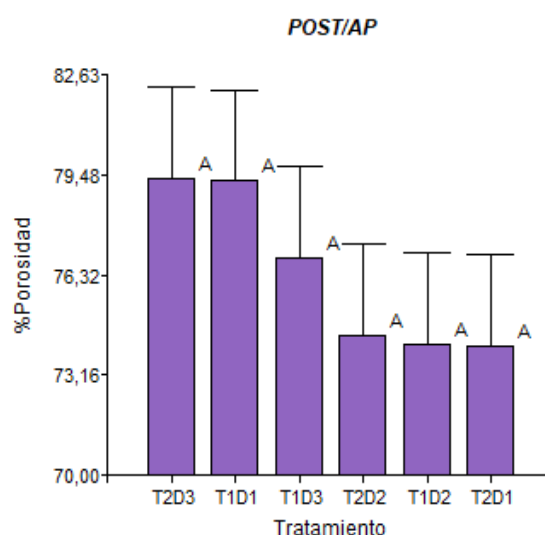


Figura 17. % Porosidad (POST/AP).

Analizando los resultados obtenidos en las variables correspondientes a las propiedades físico-químicas del suelo medidas en cuestión, pH, C.E., da, d.r, %MO, % porosidad, se puede observar que no existen estadísticamente diferencias significativas al comprobarlas mediante la prueba de Tukey al ($P < 0,05$) de significancia, esto referente a los tratamientos (T1 y T2), en relación con las densidades (d1, d2, d3), se destaca que no existe un cambio considerable en cuanto a estas variables comparándolos en dos instantes primordiales (AEC) y (POST/AP) respectivamente.

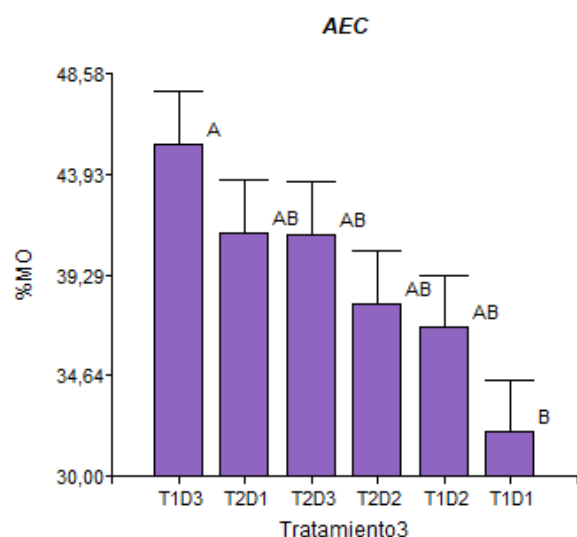


Figura 18. % MO (AEC).

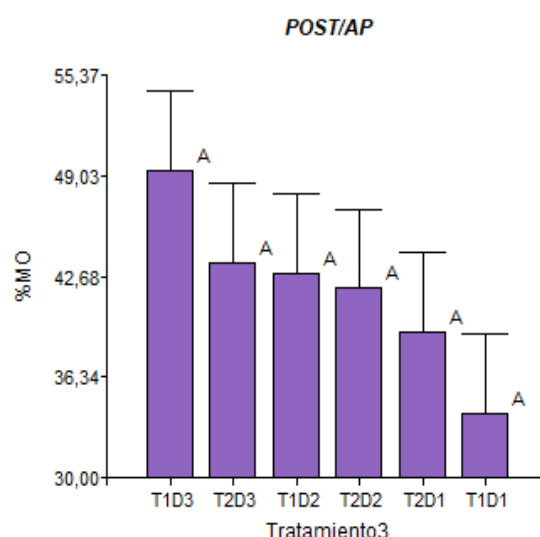


Figura 19. % MO (POST/AP).

Con respecto al % de materia orgánica (MO), se evidencia que existen diferencias significativas en cuanto al T1D3 y T1D1, mediante Tukey al ($P < 0,05$) de significancia, mientras que en la Figura 19 no presentan diferencias significativas en cuestión.

Para el análisis de la textura se tomó como base el porcentaje de partículas analizadas (arena, limo y arcilla), mediante la cual se pudo determinar la predominancia de la clase textural Franco arenoso.

Tabla 2. Clases texturales obtenidas en la evaluación de los dos tratamientos (T1 Y T2) con sus respectivas densidades (d1, d2, d3), en dos momentos de medición (AEC) y (POST/AP).

TEXTURA			
TRATAMIENTOS	Densidad de siembra	Momento de toma de datos	Clases texturales
(T1) AZADA	D1	AEC	Franco arenoso
	D2		Franco arenoso
	D3	POST/AP	Franco arenoso
(T1) SURCADORA	D1	AEC	Franco arenoso
	D2		Franco arenoso
	D3	POST/AP	Franco arenoso

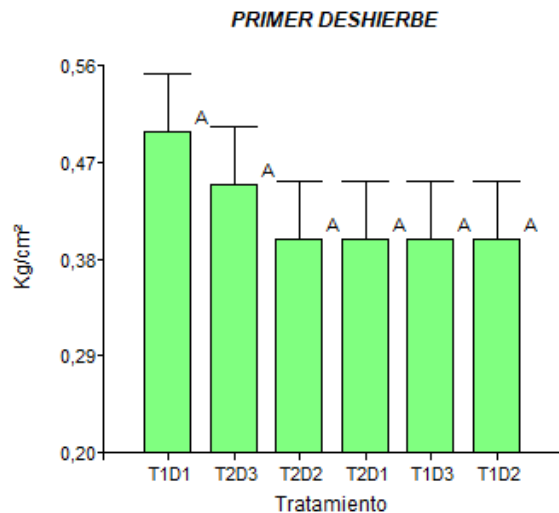


Figura 20. Resistencia (Primer deshierbe).

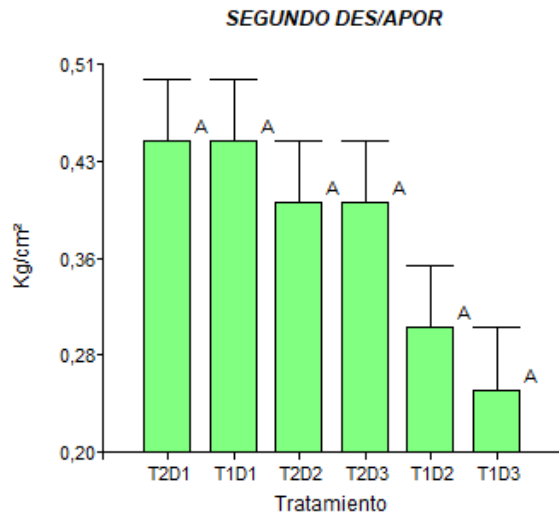


Figura 21. Resistencia (Seg DES/APOR).

Los resultados de infiltración se relacionaron con los de resistencia, ya que los dos parámetros están ligados estrechamente, por lo cual en los resultados de resistencia tomados en los estadios anteriormente mencionados (Figura 20 y 21), se puede observar que no presentan diferencias significativas mediante la corroboración ante la prueba de Tukey al ($P < 0,05$) de significancia.

5.1.2 Evaluación fenológica del cultivo (altura, número de hojas, diámetro de tallo)

5.1.2.1 Altura primer deshierbe, Segundo deshierbe y aporque, prefloración (V11):

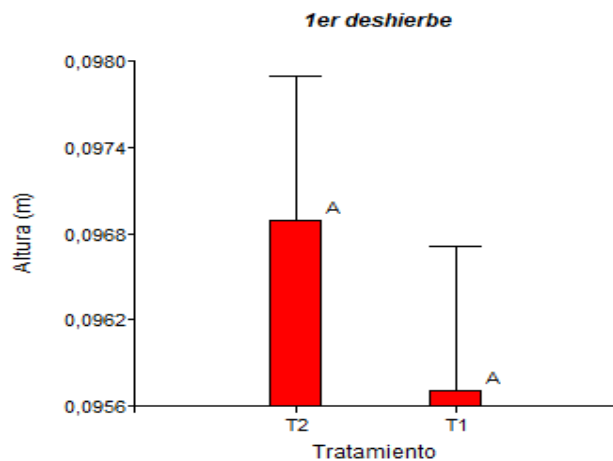


Figura 22. Altura (Primer deshierbe).

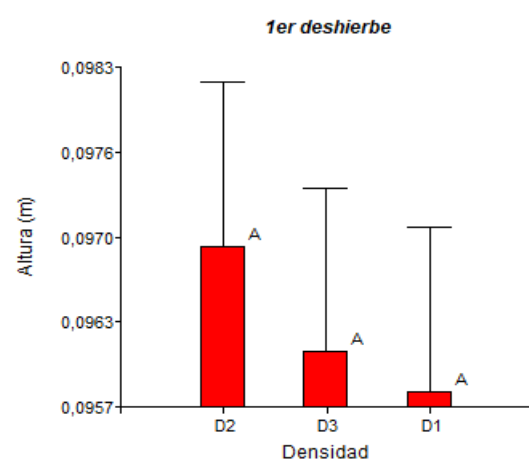


Figura 23. Altura (Primer deshierbe).

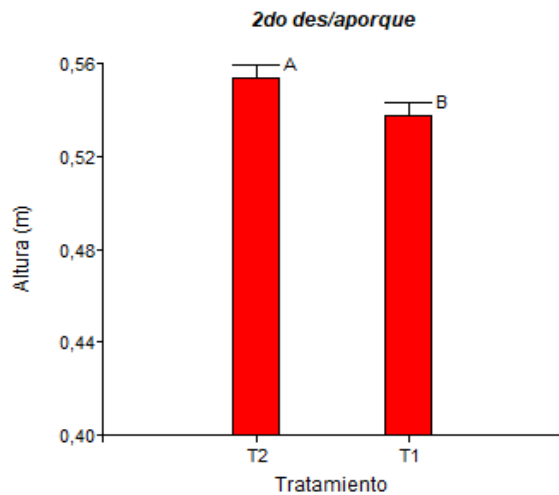


Figura 24. Altura (Seg des/apo).

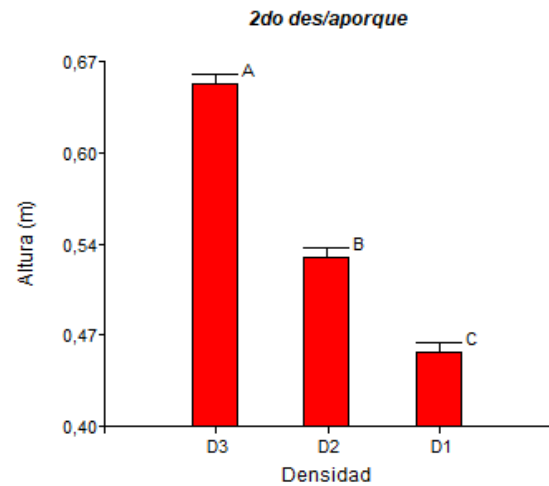


Figura 25. Altura (Seg des/apo).

Se puede observar en la Figura 24 y 25, que existen diferencias significativas en cuanto a las alturas obtenidas en cada densidad con relación al tratamiento, dando como una notable diferencia el T2 y D3 teniendo una altura promedio superior al resto, siendo T1 y D1 los valores más bajos, esto mediante Tukey al ($P < 0,05$) de significancia.

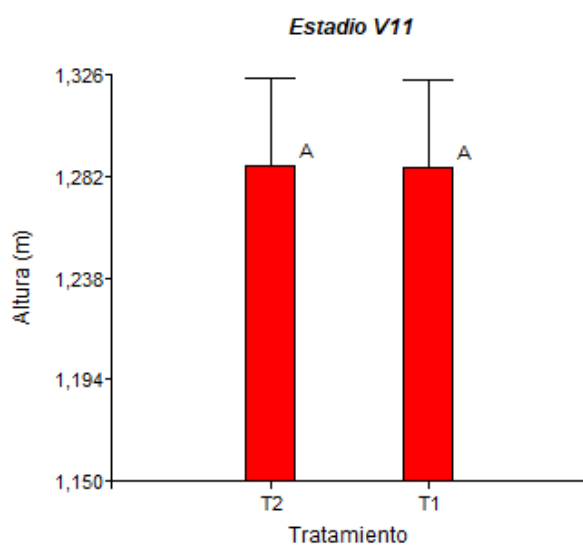


Figura 26. Altura (Estadio V11).

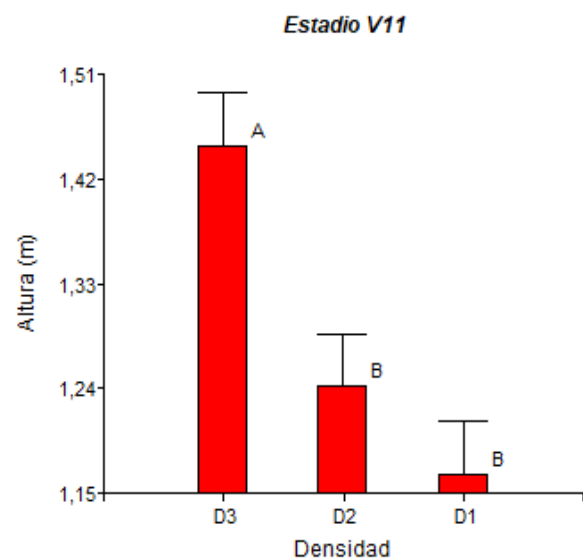


Figura 27. Altura (Estadio V11).

Se puede apreciar que no existen diferencias significativas en cuanto a los tratamientos Figura 26, sin embargo, si existen diferencias significativas acordes a las densidades establecidas en D3, de esto se tendría que seguir la tendencia de T2 y D3 teniendo valores superiores a los tratamientos y densidades establecidas conforme al análisis realizado mediante la prueba de Tukey al ($P < 0,05$) de significancia, en donde se asume que a mayor densidad se tiene mayor altura de plantas de maíz (*Zea mays* L.).

5.1.2.2 Número de hojas: Primer deshierbe, segundo deshierbe y aporque, prefloración (V11)

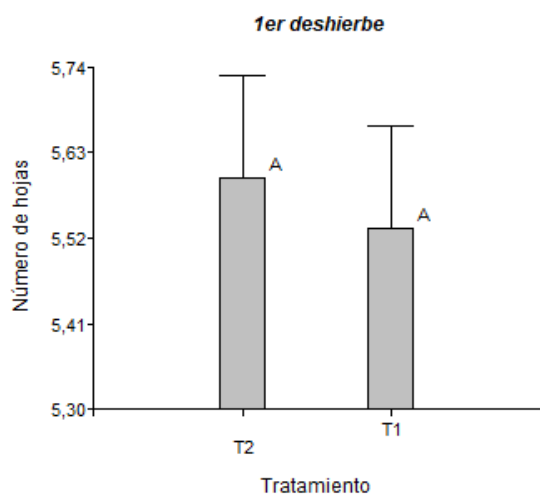


Figura 28. N. hojas (Primer deshierbe).

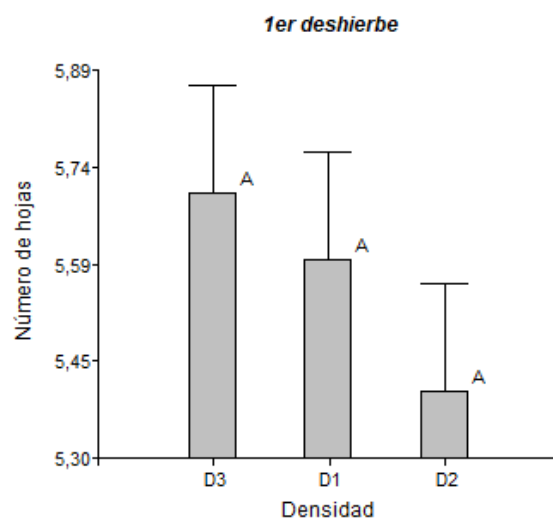


Figura 29. N. hojas (Primer deshierbe).

Mediante el análisis de los datos obtenidos se asume que existen valores similares; por tanto, no presentan diferencias significativas en cuanto a tratamientos y densidades, corroborado mediante el uso de Tukey al ($P < 0,05$) de significancia.

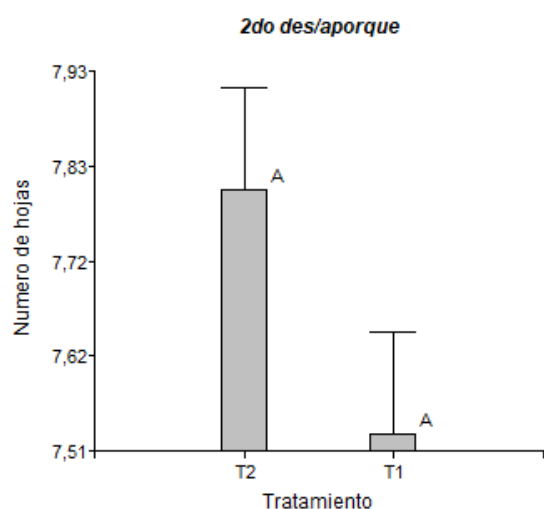


Figura 30. N. hojas (Seg des/apo).

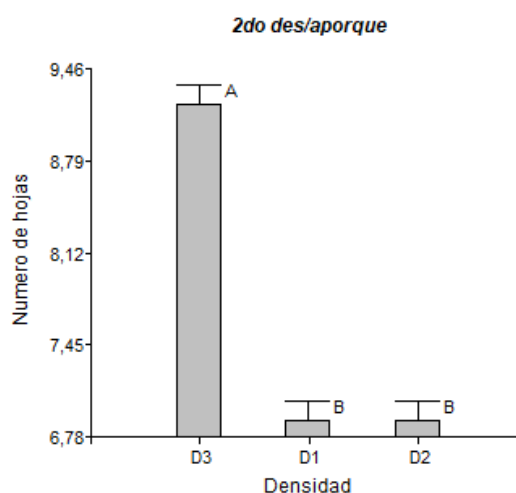


Figura 31. N. hojas (Seg des/apo).

En la Figura 30 se observa que no existen diferencias significativas más, sin embargo, respecto a la densidad si las existen (Figura 31), por ende, se asume que T2 y D3 resultan tener los valores más elevados según Tukey al ($P < 0,05$) de significancia, con respecto al resto de tratamientos y densidades.

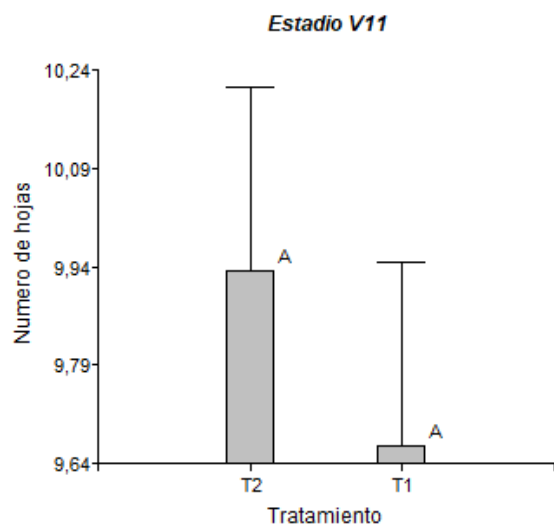


Figura 32. N. hojas (Estadio V11).

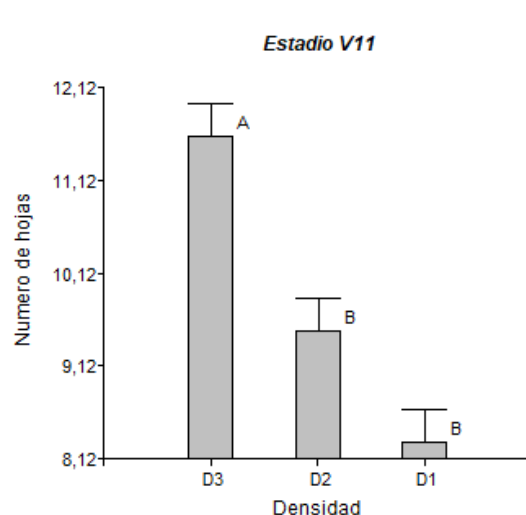


Figura 33. N. hojas (Estadio V11).

De la misma manera, se puede apreciar que no se presentan diferencias significativas en los tratamientos Figura 32, sin embargo, referente a D3, sí presenta diferencias significativas a D1 y D2, esto mediante la comparación de media a través de Tukey al ($P < 0,05$) de significancia.

5.1.2.3 Diametro de tallo (cm): Primer deshierbe, segundo deshierbe y aporque, prefloración (v11):

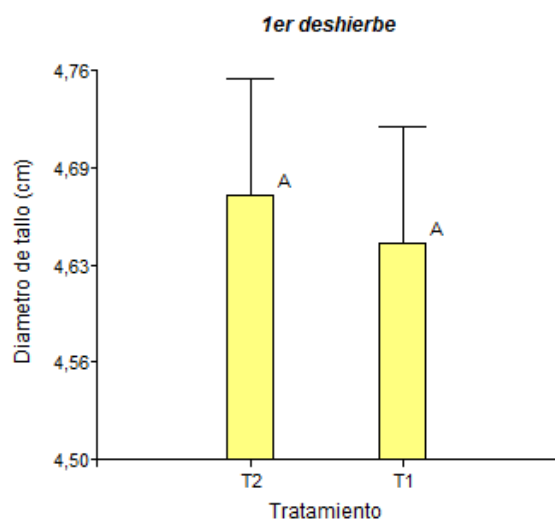


Figura 34. Diá tallo (Primer deshierbe).

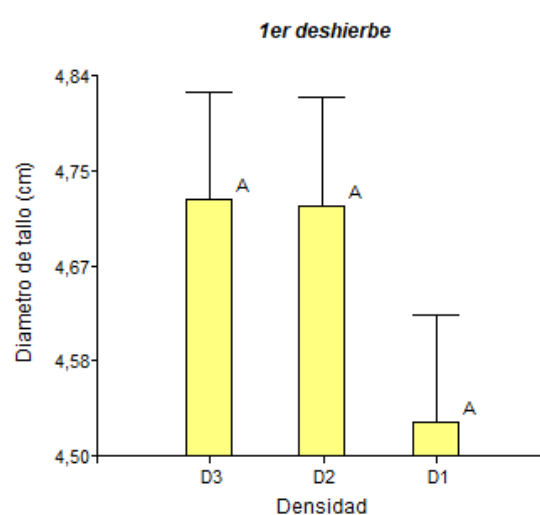


Figura 35. Diá tallo (Primer deshierbe).

Tanto en la Figura 34 y 35 se puede observar que no presentan diferencias significativas referente a la comparación de media mediante Tukey al ($P < 0,05$) de significancia, esto realizado en la primera labor cultura del cultivo correspondiente al aporque respectivo.

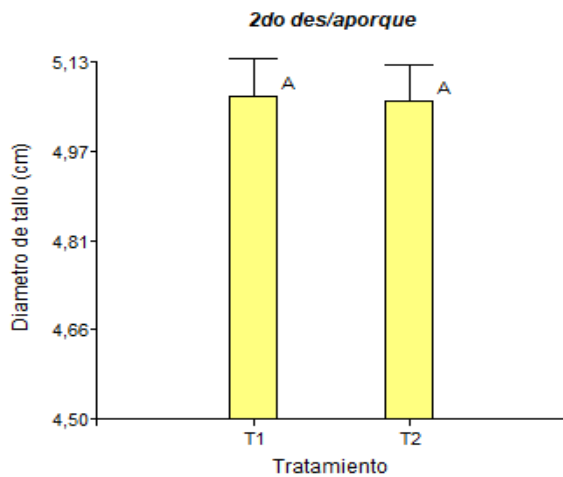


Figura 36. Diá tallo (Seg des/apo).

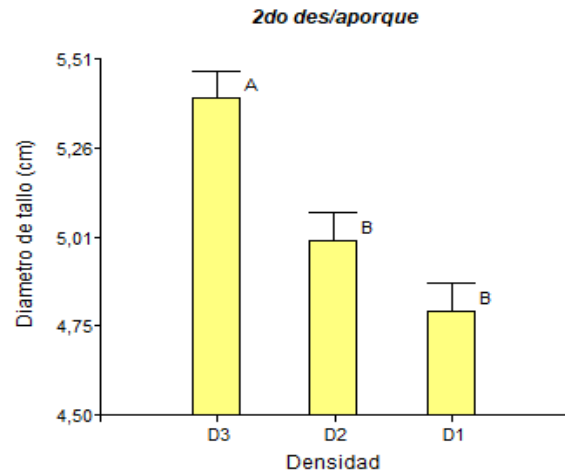


Figura 37. Diá tallo (Seg des/apo).

En la Figura 36 se observa que no presenta diferencias significativas en cuanto a tratamiento, a diferencia de la densidad, puesto que para D3 se presenta diferente a D2 y D1 mediante el análisis y comparación de medias conforme a Tukey al ($P < 0,05$) de significancia.

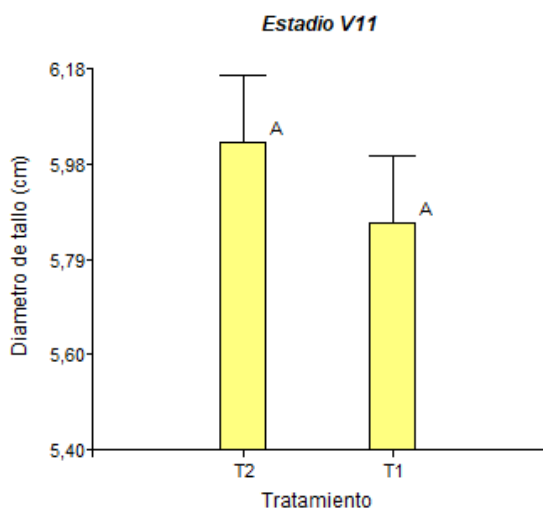


Figura 38. Diámetro tallo (Estadio V11).

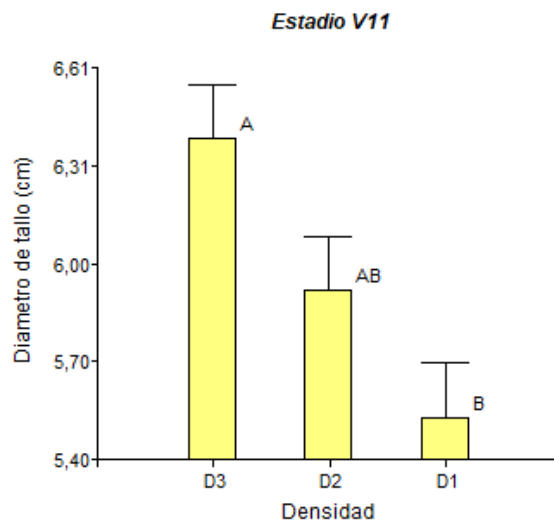


Figura 39. Diámetro tallo (Estadio V11).

Teniendo en consideración el patrón exponencial observado en los resultados obtenidos anteriormente, mediante Tukey al ($P < 0,05$) de significancia, en la Figura 39 se observa que, si existen diferencias en D3 con D2 y D1 respectivamente, indistintamente de los tratamientos evaluados.

5.2 Costos de producción y optimización de tiempo

5.2.1 Comparación de uso en tiempo

5.2.1.1 Tiempo en horas de trabajo empleadas en el primer deshierbe y segundo deshierbe/aporque

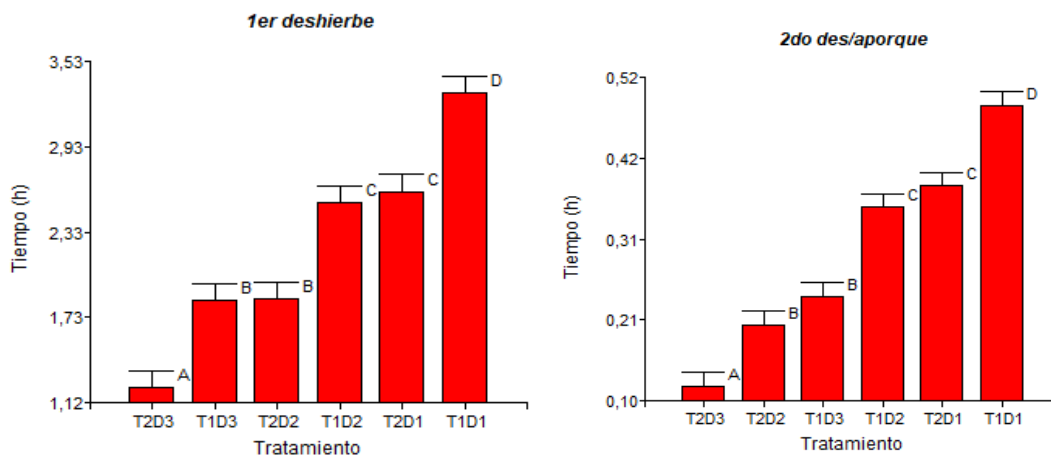


Figura 40. Trabajo primer deshierbe **Figura 41. Trabajo segundo des/ aporque**

En las Figuras 40 y 41 se puede observar que existen diferencias significativas mediante Tukey al ($P < 0,05$) significancia, en relación al tiempo de trabajo (h), en donde se puede evidenciar que T2 tiene menor tiempo en comparación con T1, en relación con las densidades establecidas para cada unidad experimental

5.2.1.2 Comparación costos de producción

Mediante la comparación de media por Tukey al ($P < 0,05$) de significancia, se observa claramente que existen diferencias significativas en cuanto a tratamiento y densidades en el primer deshierbe (Figura 40), donde T2D3 presenta valores inferiores de tiempo en las dos labores culturales realizadas, con respecto a T1D1, mismo que presenta valores altos de tiempo al ejecutar dicha labor, puesto que en la primera labor mediante T1 se tienen tiempos de trabajo de 3h (horas) en promedio, por el contrario en el uso de T2, se tienen tiempos de 1,5h (horas) promedio de trabajo, de la misma manera la reducción de tiempo se mantiene con respecto a los tiempos de trabajo por tratamientos, así como relación con las densidades evaluadas.

De la misma manera, se presentan diferencias significativas en el segundo deshierbe y aporque con respecto a T2D3, manteniendo los mismos valores inferiores en comparación al resto de tratamientos y densidades (Figura 41), esto corroborado mediante la comparación de medias por Tukey al ($P < 0,05$) de significancia, por lo cual se deduce que a medias densidades se tienen valores menores de tiempos ejecutados y esto está relacionado

estrictamente con el tratamiento ya que T2 resulta ser el que menor tiempo lleva en realizar las labores culturales mencionadas en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), a diferencia del uso de una herramienta tradicional como una azada (T1).

Tabla 3. Costos de producción contemplados al tratamiento 1 (T1)

COSTO TRATAMIENTO 1				
RUBRO	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Subtotal (\$)
Costo semillas	Kg	3	4	12
Contratación de plataforma para tractor	h(hora)	2	60	120
Preparación de terreno (tractor)	h(hora)	3,5	20	70
División de parcelas	Jornal	1	20	20
Siembra	Jornal	1	20	20
Primer deshierbe	Jornal	5	20	100
Segundo deshierbe/aporque	Jornal	5	20	100
Gastos varios				100
Total			\$	542

Elaborado por: Naula, 2024

Tabla 4. Costos de producción contemplados al tratamiento 2 (T2)

COSTO TRATAMIENTO 2				
RUBRO	Unidad	Cantidad	Costo/Unidad	Subtotal (\$)
Costo semillas	Kg	3	4	12
Contratación de plataforma para tractor	h(hora)	2	60	120
Preparación de terreno (tractor)	h(hora)	3,5	20	70
División de parcelas	Jornal	1	20	20
Siembra	Jornal	1	20	20
Primer deshierbe	Jornal	3	20	100
Segundo deshierbe/aporque	Jornal	1	20	100
Gastos varios				100
Total			\$	422

Elaborado por: Naula. 2024

Analizando los valores presentados en las tablas anteriores, se puede deducir que T2 resulta ser una opción que puede generar un valor significativo en cuanto a la relación de Costo/Beneficio. Esto se podría ver reflejado de mejor manera si se tuviera el ingreso generado, puesto que se contemplarían ingresos y gastos netos, más, sin embargo, no se lo pudo contemplar en la presente investigación, ya que la producción de maíz (*Zea mays* L.), alcanzó un estadio de V11 (Prefloración), más, sin embargo, se tiene una tendencia

significativa de que T2 es una manera de optimizar los jornales de trabajo y por ello los costos de producción serán más bajos a diferencia de una labranza convencional (T1).

6 Discusión

Mediante el análisis de los resultados obtenidos referentes a las propiedades físico-químicas del suelo, se deduce que no existen cambios significativos a lo largo del ciclo de cultivo de maíz (*Zea mays* L.), esto debido a la ausencia de fertilizantes, ya que el suelo puede mantener un equilibrio natural de nutrientes debido a procesos como la mineralización de la materia orgánica y la liberación gradual de nutrientes por parte de los minerales presentes en el suelo, este equilibrio puede sostener el crecimiento de las plantas sin cambios significativos en las propiedades físicas y químicas del suelo (García-Rivera et al., 2022).

Las prácticas agrícolas convencionales en donde la estructura del suelo se vea afectada podrán generar cambios en las propiedades físico-químicas del suelo; sin embargo, en sistemas en donde se intervenga lo más mínimo el suelo, dichas propiedades se mantendrán, puesto que estas no compactan de manera significativa el suelo, así se mantendrá una buena aireación del suelo y de esta manera no afectaría negativamente las propiedades biológicas y químicas del suelo, lo que puede reducir la fertilidad y la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes (Velázquez et al., 2022).

Según Vásquez, et al. (2018), sostiene que en sistemas convencionales de labranza se observará una producción estable de un cultivar a corto plazo, así como las propiedades físico-químicas del suelo serán óptimas para una buena producción, más, sin embargo, esta se verá afectada por un continuo manejo de manera tradicional, referente a la estructura del suelo, pues se verá afectada por la misma forma de labranza continua y compactación de la misma.

Mediante los valores obtenidos en cuanto a la resistencia del suelo (Figura 20 y 21), se puede observar una disminución notable en la segunda toma de datos, esto se debe a que, según Oyola-Guzmán (2016), se manifiesta que en épocas de estiaje (bajo contenido de agua), la resistencia del suelo puede aumentar, mientras que en épocas de lluvias (alto contenido de agua), la resistencia puede reducirse considerablemente, puesto que la compactación con el contenido de agua óptimo es fundamental para mantener la resistencia adecuada del suelo, así pues, sus resultados obtenidos concuerdan con los obtenidos en nuestra investigación, puesto que existieron estos dos fenómenos durante el ciclo vegetativo del cultivo de maíz en Nero, Azuay.

Correspondiente a los valores obtenidos de las variables altura de planta, número de hojas y diámetro de tallo (Figuras 22-39), se puede decir que los valores aumentan conforme a la densidad establecida, ya que una por un lado, una densidad de siembra alta puede aumentar el rendimiento del cultivo al maximizar el aprovechamiento del espacio y los recursos

disponibles reflejados en el número de plantas por densidad en una área determinada, pero esto afecta significativamente a otras variables como diámetro de tallo, así como altura de planta ya que están estrechamente relacionadas entre sí (D1) y (D2), por otro lado, con una mayor densidad de plantas, pero por otro lado se tiene una competencia interna entre individuos y menos desarrollo foliar, lo que esto acarrea un desbalance significativo de fotosíntesis y así un menos desarrollo de la planta en cuestión (Chura, 2019).

Los resultados presentados concuerdan con Guamán et al. (2020), ya que manifiesta que a una densidad de siembra más baja el crecimiento y desarrollo son óptimos, pues al reducir la competencia por los recursos, como la luz, el agua y los nutrientes, con menos plantas por unidad de área, cada planta puede tener acceso a una mayor cantidad de recursos, lo que puede promover un mayor crecimiento vegetativo y una formación de mazorcas más robusta, así también, una menor densidad de siembra puede ayudar a reducir el riesgo de enfermedades y plagas al permitir una mejor circulación del aire y una mayor exposición de las plantas al sol, lo que contribuye a un ambiente menos favorable para la proliferación de patógenos.

Raza et al. (2022), afirma que la mano de obra representa uno de los costos más significativos en la producción de maíz (*Zea mays* L.), lo que puede influir en la viabilidad económica de los agricultores, puesto que la optimización de los costos de mano de obra en extensiones grandes, medianos y pequeños representa gran inversión y se deben generar estrategias para mantener la rentabilidad del cultivo.

En la actualidad existen pocos o casi nulos trabajos en donde se comparan herramientas manuales diseñadas para una labor específica contra herramientas convencionales, para medir la eficiencia de las mismas, puesto que todo está estrechamente relacionado con la optimización del tiempo y la mano de obra, puesto que la comparación de jornales entre labranza convencional a diferencia del uso de herramientas diseñadas, ya que la diferencia es notoria y esta se ve reflejada en costos de producción de un cultivo en cuestión (Carvajal Larenas & Caviedes Cepeda, 2019).

7 Conclusión

Al finalizar la presente investigación y mediante el análisis de todos los resultados obtenidos, se puede llegar a tener un panorama claro y específico en cuanto a los siguientes aspectos:

Las características físico-químicas no se verán altamente afectadas en un ciclo de cultivo, a no ser que en el área de estudio se realice mayor intervención, por ejemplo, el uso de fertilizantes, ya sean químicos u orgánicos, de la misma manera si previo al establecimiento del cultivo se tuvo un historial ya establecido, caso que no se tenía en el área de investigación ya que se encontraba en estado de descanso.

De la misma manera, se llegó a la conclusión de que una mayor densidad de siembra afecta directamente al desarrollo fenológico del cultivo en el caso de D1 y D2, a diferencia de una menor densidad de siembra D3, que presentó un correcto desarrollo en sus diferentes etapas vegetativas; sin embargo, hay que tener en consideración que no se debe llegar a los extremos, ya que se puede perder espacio de cultivo en densidades muy bajas, así que lo óptimo es encontrar un punto de equilibrio en donde se pueda tener una buena respuesta por parte del cultivo referente a la densidad idónea, entonces se puede decir que D2 y D3 son densidades consideradamente óptimas para una buena respuesta a desarrollo vegetativo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en Nero, Azuay.

Así también se puede concluir que la mano de obra es un factor fundamental para asumir los costos de producción en un cultivo específico, es por ello que herramientas que ayuden a reducir la carga de mano, como en la presente investigación en donde se verificó que (T2) ayuda de sobremanera a un menor impacto en costos de producción en relación con al beneficio del mismo, por ello se deben seguir diseñando herramientas que faciliten y disminuyan esta carga de mano de obra, ya que son accesibles para productores pequeños y medianos.

De esta manera se comprueba que la eficiencia de una herramienta diseñada para labores específicas puede ser de gran ayuda a productores pequeños, medianos o incluso grandes, puede ser óptimo para tener una buena producción, conjunto con una idónea densidad de siembra, y teniendo en consideración los factores físico-químicos del suelo, se puede tener un óptimo desarrollo de cualquier cultivo, así como una buena rentabilidad del mismo.

8 Referencias

- Boada, R., & Espinosa, J. (2016). Factores que limitan el potencial de rendimiento del maíz de polinización abierta en campos de pequeños productores de la Sierra de Ecuador. *Siembra*, 3(1), 67-82. <https://doi.org/10.29166/siembra.v3i1.262>
- Carvajal Larenas, F. E., & Caviedes Cepeda, G. M. (2019). Análisis comparativo de la eficiencia productiva del maíz en Sudamérica y el mundo en las dos últimas décadas y análisis prospectivo en el corto plazo. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 11(1). <https://doi.org/10.18272/aci.v11i1.1079>
- Caviedes, M., Carvajal-Larenas, F. E., & Zambrano, J. L. (2020). Tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays*. L) en el Ecuador. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, especial*(1). <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/download/2588/3111?inline=1>
- Ceconello, M. M., Cittadini, P. D. E., & Moyano, D. D. (s. f.). *LA MECANIZACIÓN AGRÍCOLA: CAMBIOS E INNOVACIONES EN LOS SISTEMAS DE COSECHA DE CAÑA DE AZÚCAR EN TUCUMÁN (1960 – 2005)*.
- Cortés, E., Álvarez, F., & González, H. (2009). La mecanización agrícola: gestión, selección y administración de la maquinaria para las operaciones de campo. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 4(2), 151-160. <https://revistas.ces.edu.co/index.php/mvz/article/view/1040/1913>
- Felipe-Morales, C. (2002). Manejo agro ecológico del suelo en sistemas andinos. *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*, Ediciones Científicas Americana, Argentina. <http://www.lamolina.edu.pe/Postgrado/pmdas/cursos/agroecologia/lecturas/MANEJO%20AGROECOL%3%93GICO%20DEL%20SUELO%20EN%20SISTEMAS%20ANDINOS.pdf>
- Félix Alfredo, E. F. (2020). Análisis del sistema de producción del maíz suave de polinización abierta en el ecuador y sus factores adversos (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2020). <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8403>.

Fiala, M., & Marquez, L. (2020). Mecanización agrícola y sostenibilidad: Electrificación en la maquinaria agrícola. *agrotécnica*, 23(1), 48-53.

https://air.unimi.it/bitstream/2434/729282/2/2020_C1d_001.pdf

García, E. J. (s. f.). *LÉXICO SORIANO SOBRE HERRAMIENTAS QUE SE UTILIZABAN EN LA AGRICULTURA DE CEREAL ANTES Y DESPUÉS DE LA MECANIZACIÓN DEL CAMPO*.

García-Rivera, B. R., Rodríguez-Urrutia, E. A., Arias-de Linares, A. Y., Barrera-de-Calderón, M. L., & Kearney, S. P. (2022). Evaluación de propiedades físicas, químicas e hidrológicas en suelos manejados con maíz (*Zea mays*) y cinco programas de fertilización, La Montañona, Chalatenango, El Salvador. *Revista Minerva*, 3(2), 60-73. <https://doi.org/10.5377/revminerva.v3i2.12559>

Guamán Guamán, R. N., Desiderio Vera, T. X., Villavicencio Abril, Á. F., Ulloa Cortázar, S. M., & Romero Salguero, E. J. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, 7(2), 047-056. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i2.2196>

Houtart, F. (2014). El desafío de la agricultura campesina para el Ecuador. La restauración conservadora del correísmo, 167-178.

https://sudamericarural.org/images/en_papel/archivos/La-restauracin-conservadora-copia.compressed.pdf#page=164

Intriago Mendoza, F. R. (2019). La mecanización agrícola y su impacto en el desarrollo agropecuario del Ecuador. *SATHIRI*, 14(2), 289. <https://doi.org/10.32645/13906925.910>

Loor-Sácido, I. O. A., Cevallos-Mera, M. R. X., & Shkiliova, L. (2019). *Diagnosis of Agricultural Mechanization in Four Communities in Manabí Province, Ecuador*. 28(1).

López Martínez, JD, Vázquez Vázquez, C, Salazar Sosa, E, Zúñiga Tarango, R, & Trejo Escareño, HI. (2010). Sistemas de labranza y fertilización en la producción de maíz forrajero. *Phyton* (Buenos Aires), 79(1), 47-54. Recuperado en 05 de mayo de 2024,

dehttp://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-56572010000100008&lng=es&tlng=pt

Melendez, J. R., Velásquez-Rivera, J., El Salous, A., y Peñalver, A. (2021). Gestión para la producción de biocombustibles 2G: revisión del escenario tecnológico y económico. *Revista Venezolana de Gerencia*, 26(93), 78-91. <https://doi.org/10.52080/rvg93.07>

Noguera, P. L., Viruliche, L. D., & Mijenes, M. E. C. (2004). Efecto del aporque en el rendimiento del cultivo del maíz. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 13(2), 0.

<https://www.redalyc.org/pdf/932/93213208.pdf>

Obando Arequipa, E. S. (2019). Caracterización morfológica de maíz blanco harinoso (*Zea mays* L.) material nativo “Chazo” de la provincia de Chimborazo (Bachelor's thesis).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2021) Datos estadísticos FAOSTAT. Recuperado el 16 de abril de 2023 de: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.

Oyola-Guzmán, R. D. (2016). Determinación de la resistencia a la penetración de un suelo cohesivo en diferentes condiciones de hidratación y compactación. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 10(3), 1-10.

Peñaherrera, D. (2011). Manejo integrado del cultivo de maíz de altura: Módulos de capacitación para capacitadores. Módulo 4. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3302/1/iniapscpm190.pdf>

Pérez de Corcho Fuentes, Jorge Simón, Herrera Suárez, Miguel, Vivas Vivas, Ramiro José, García, Gioconda, & Valdiviezo, Rodrigo. (2017). La mecanización agrícola: campo de acción de la ingeniería agronómica. *Siembra*, 4(1), 59-65. <https://doi.org/10.29166/siembra.v4i1.500>

Pérez, V. P. L., Montesdeoca, W. A. R., & Moyano, G. A. A. (2020). Estudio de Materiales utilizados en la Construcción de Aperos para la mecanización agrícola en la zona Andina del Ecuador.(Enfoque Mecánica y Diseño Ergonómicos). *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 1194-1204.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7539763>

- Raza, E. F. M., Barreto, C. D. C., & Cajas, L. J. V. (2022). Optimización de costos de mano de obra en la producción de maíz duro en la provincia de Loja: Costos de mano de obra en la producción de maíz duro en la provincia de Loja. *Un Espacio para la Ciencia*, 5(1), Article 1.
- Rebañ, N. (2011). ENTRE AGRICULTURA COMERCIAL Y SOBERANÍA ALIMENTARIA: LOS RETOS DEL CAMPESINADO EN LA SIERRA ECUATORIANA. *Revista Geográfica de América Central*.
- Sims, B., Kienzle, J., Cuevas, R., & Wall, G. (2008). Desafíos del abastecimiento de insumos para la mecanización agrícola y el procesamiento de la producción. Actas del Taller de Trabajo de la FAO llevado a cabo en el Congreso Mundial de Ingeniería Agrícola (CIGR). Bonn, Alemania, 5-6 septiembre 2006. <https://www.sidalc.net/search/Record/unfao:667614/Description>
- SIPA. (2021). Sistema de Información Pública Agropecuaria, Cifras Agroproductivas. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Quito, Ecuador. Datos disponible del año 2020. Consultado en Abril de 2021.
- <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Valle, L. M. (2009). *La Agricultura Familiar en el Ecuador*.
- Valverde, F., Ramos, M., Estrada, S., Silva, J., Ruales, W., & Parra, R. (2004). Evaluación de sistemas de labranza de suelos y fertilización en la asociación maíz-frejol voluble.
- Valverde, F., Ramos, M., & Parra, R. (2019). *EVALUACION DE SISTEMAS DE LABRANZA DE CONSERVACION DEL SUELO Y FERTILIZACION CON FOSFORO EN MAIZ, AL TERCER AÑO DE ESTUDIO*.
- Velazquez, R. V., Del Valle Holguín, W., Pallarazo Loo, R. I., & Duma Muñoz, K. I. (2022). Determinación de las propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas de la parroquia El Esfuerzo del cantón Santo Domingo de los Tsáchilas. *Revista Científica Sinapsis*, 2(21). <https://doi.org/10.37117/s.v2i21.534>
- Yáñez, C., Zambrano Mendoza, J. L., Caicedo, M., & Heredia, J. (2013). El cultivo de maíz de altura. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2435>

9 Anexos

Anexo A. Área de estudio antes de la preparación de terreno.



Anexo B. Preparación de suelo mediante uso de tractor con rastra de discos.



Anexo C. Delimitación de caminos y parcelas experimentales.



Anexo D. Siembra de maíz (*Zea mays* L.) Var. Zhima.



Anexo E. Germinación uniforme a 20 días de la siembra respectiva.



Anexo F. Análisis de propiedades de suelo mediante la toma de muestras.



Anexo G. Primera toma de datos para 1er aporque.



Anexo H. 1er aporque mediante T1 y T2.



Anexo I. 2do Deshierbe y aporque del cultivo de maíz (*Zea mays* L.).



Anexo J. Estadio máximo alcanzado (V11) del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) Var. Zhima.



Anexo K. Prueba Tukey al ($P < 0,05$) se significancia para determinación de pH mediante el programa estadístico Infostat.

C:\Users\Usuario\Desktop\Tesis_Mecanizacion Agricola\DCA TIEMPO PRIMERA MEDICION_PH ADEC : 1/5/2024 - 15:12:04 - [Versión : 30/4/2020]

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Ph	30	0,06	0,00	3,07

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,05	5	0,01	0,32	0,8934
Tratamiento	0,05	5	0,01	0,32	0,8934
Error	0,78	24	0,03		
Total	0,83	29			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,35299

Error: 0,0326 gl: 24

Tratamiento Medias n E.E.

T2D2	5,95	5	0,08	A
T1D3	5,88	5	0,08	A
T2D3	5,88	5	0,08	A
T2D1	5,86	5	0,08	A
T1D1	5,84	5	0,08	A
T1D2	5,82	5	0,08	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)