

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

**Comparativo técnico y económico de la yunta de buey con una
motocultivadora Ducati DTL 13000 en la labranza de suelos**

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:

Bach. Walter MARQUINA GUERRA

ASESOR:

M.Sc. Federico QUICAÑO SUÁREZ

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

A **Dios**, mi refugio y fortaleza, con humildad y eterna gratitud, por regalarme mucho más que la vida, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente con sabiduría para superar cada obstáculo.

Con respeto, amor, admiración y gratitud a mi madre, **María Guerra Llantoy**, pilar fundamental en mi formación personal, por sus consejos, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

Con admiración y gratitud a mi padre, **Emiliano Marquina Taípe**, por enseñarme a nunca rendirme y que siempre se puede empezar de cero.

A mis hermanos, **Gerardo Rivera Guerra** y **Joel Marquina Huamán**, por su confianza, comprensión, apoyo incondicional y ejemplos de hermano mayor.

A mi abuelo, **Prof. Fortunato A. García Pérez**, por su legado, tiempo y experiencias compartidas y su dedicación como docente; a mis tíos por su sabiduría y orientación.

A mis fieles mascotas, por su compañía, alegría y lealtad en los momentos más difíciles.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento y cariño, que este logro refleje su bondad y sabiduría. Esta tesis es un reflejo de su influencia positiva en mi vida.

AGRADECIMIENTO.

A la **Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga**, por haberme permitido ser parte de esta noble institución, haberme acogido en sus aulas e inculcado las capacidades y los valores, tan necesarios, para cumplir de vocación con las necesidades que la sociedad demanda.

A la **Facultad de Ciencias Agrarias** y a la **Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola**, por brindarme las condiciones necesarias, tanto como infraestructura, herramientas y a todos los docentes e ingenieros, que me transmitieron sus conocimientos e intervinieron en el proceso de mi formación académica, por las cuales, esta tesis ha sido posible, asimismo, a mis compañeros de aula, que formaron parte de mis días en la universidad.

A la colaboración de mi asesor de tesis, M.Sc. Federico Quicaño Suarez, por la oportunidad y confianza, muy importantes para poder realizar y culminar exitosamente esta tesis.

A la **Tuna de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga**, por hacerme parte de una tradición universitaria, llena de aventuras, conocer lugares maravillosos y personajes ilustres.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en una parcela experimental seleccionada de la comunidad de San Rafael, Distrito de Socos, provincia de Huamanga y Departamento de Ayacucho a una altitud de 2967 m.s.n.m. durante los meses de setiembre y octubre del año 2023. Se validaron las especificaciones técnicas del tractor de dos ruedas DUCATI DTL 13000 de 13 HP de potencia en la labranza primaria de suelos de suelos para la siembra de maíz. Las características físicas del campo de cultivo fue franco arcilloso y con un contenido de materia orgánica de 0.99%; con el que se puede caracterizar como un suelo de buenas características físicas en lo referente a textura y estructura que facilitará la buena realización de las labores de preparación de suelos con el arado surcador. En la evaluación técnica, el arado de palo requirió una fuerza de tracción de 132.9 Kg. Para las condiciones del campo experimental de la comunidad de San Rafael, requiriendo una potencia de 1.36 HP en la yunta de buey (0.68 HP por cada buey); Los principales parámetros técnicos operativos de la motocultora DUCATI DTL 13000 de 13 HP de potencia en la labranza primaria de suelos con un arado surcador fue de 6.89 HP de los 13 HP que la motocultivadora pudiera desarrollar y desarrolló una fuerza de tracción de 459.5 Kg, asimismo, el consumo de combustible fue de 0.017 gal./HP.hr y que para una labor diaria de 8 horas equivale a un consumo de 0.9 galones/día y 1.5 gal/ha., haciendo un gasto muy económico en la labranza con el arado surcador. La capacidad de trabajo de efectivo fue de 0.028 ha/hr. y 0.076 ha/hr. para el arado de palo y la motocultivadora DUCATI DTL 13000 respectivamente y el tiempo efectivo de 35.48 hr/ha. y 13.27 hr/ha. con el que se estableció el costo de la labor de la labranza de suelos en 532.8 soles/ha para el arado de palo y 331.75 soles/ha con la motocultivadora DUCATI DTL 13000 para las condiciones del campo experimental de la comunidad de San Rafael.

Palabras clave: Motocultivadora, arado surcador, arado de palo.

ABSTRACT

This research work was carried out in an experimental plot selected from the community of San Rafael, District of Socos, province of Huamanga and Department of Ayacucho at an altitude of 2967 m.a.s.l. during the months of September and October of the year 2023. The technical characteristics of the DUCATI DTL 13000 13 HP power tiller were validated in the soil tillage work for sowing corn. The physical characteristics of the crop field were clay loam and with an organic matter content of 0.99%; with which it can be characterized as a soil with good physical characteristics in terms of texture and structure that will facilitate the good performance of soil preparation work with the furrowing plow. In the technical evaluation, the pole plow required a traction force of 132.9 Kg. For the conditions of the experimental field of the community of San Rafael, requiring a power of 1.36 HP in the ox team (0.68 HP for each ox); The technical characteristics of the DUCATI DTL 13000 motor cultivator with 13 HP of power in the work of soil tillage with a furrowing plow was 6.89 HP of the 13 HP that the motor cultivator could develop and developed a traction force of 459.5 Kg, also, the fuel consumption was 0.017 gal./HP.hr and that for a daily work of 8 hours is equivalent to a consumption of 0.9 gallons/day and 1.5 gal/ha., making a very economical expense in the tillage with the furrowing plow. The effective working capacity was 0.028 ha/hr and 0.076 ha/hr for the pole plow and the DUCATI DTL 13000 cultivator respectively and the effective time was 35.48 hr/ha and 13.27 hr/ha with which the cost of soil tillage work was established at 532.8 soles/ha for the pole plow and 331.75 soles/ha with the DUCATI DTL 13000 cultivator for the conditions of the experimental field of the community of San Rafael.

Keywords: Cultivator, furrowing plow, pole plow.

ÍNDICE

RESUMEN.....	iv
ÍNDICE	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	x
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO I	13
MARCO TEÓRICO	13
1.1 Investigaciones relacionadas a la investigación.....	13
1.1.1 Investigaciones Internacionales.....	13
1.1.2. Investigaciones Nacionales.....	15
1.1.3 Investigaciones Regionales.....	17
1.2. Labranza de suelos.....	18
1.2.1 Conceptos básicos de labranza de suelos.....	18
1.2.2 Propiedades físicas del suelo y el crecimiento de las plantas.....	19
1.2.3 Objetivos de la labranza de suelos.....	24
1.2.4 Condiciones de la cama de siembra óptima.....	25
1.2.5 Métodos de preparación de suelos y tipos de labranza.....	27
1.3 Maquinaria para la labranza de suelos (Hunt, 1991).....	30
1.3.1 Maquinaria para la labranza primaria.....	31
1.3.2 Maquinaria de labranza secundaria.....	34
CAPÍTULO II	39
METODOLOGÍA.....	39
2.1. Ubicación.....	39
2.1.1. Características del Lugar de ejecución.....	39
2.1.2. Muestreo de suelo.....	40
2.1.3. Análisis físico – químico del suelo.....	41
2.2. Determinación de las propiedades físicas del suelo agrícola.....	41

2.2.1.	Textura del suelo (Método del hidrómetro o de Bouyoucos).....	41
2.2.2.	Calidad estructural a campo (CVC).....	42
2.3.	Bienes utilizados en campo	43
2.3.1.	Materiales y herramientas.....	44
2.3.2.	Equipos e Instrumental de medición.....	44
2.4.	Metodología de medición de variables e indicadores.....	44
CAPÍTULO III		49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		49
3.1.	Características físicas del suelo en el campo experimental.....	49
3.1.1.	Textura de suelos.....	50
3.1.2.	Estructura del suelo.	52
3.2.	Equipos de labranzas de suelos.....	52
3.2.1.	Descripción del Arado de palo tradicional	52
3.2.2.	Descripción de la Motocultivadora DUCATI DTL 13000	56
3.3.	Evaluación cualitativa de las tecnologías de labranza utilizados:	57
3.4.	Evaluación técnica de los implementos y/o equipos utilizados:.....	60
3.5.	Factores operativos de la motocultivadora en la labranza de suelos	64
3.6.	Usos del motocultor y arado surcador	66
3.7.	Evaluación de la capacidad de trabajo en la labranza de suelos.....	68
3.8.	Determinación de los costos de la labor de labranza.....	71
CAPÍTULO IV.....		72
CONCLUSIONES.....		72
CAPÍTULO V		73
RECOMENDACIONES		73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		74
ANEXOS.....		76

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 3. 1. Características físicas y químicas de muestra de suelo del predio "San Rafael".	49
Tabla 3. 2. Interpretación agrológica de la textura del suelo.	51
Tabla 3. 3. Especificaciones técnicas de la motocultivadora DUCATI DTL 13000.	57
Tabla 3. 4. Resumen de las características técnicas evaluadas del arado de palo con la motocultivadora DUCATI DTL de 13 HP de potencial.....	58
Tabla 3. 5. Resumen de las características operativas evaluadas del arado de palo con la motocultivadora DUCATI DTL 13000 13 HP de potencia.....	59
Tabla 3. 6. Resultados de velocidades de labranza de suelos en el arado de palo	61
Tabla 3. 7. Resultados de velocidades de labranza de suelos en la motocultivadora ..	61
Tabla 3. 8. Resultados de potencia con la tracción de la yunta de buey.....	62
Tabla 3. 9. Resultados de potencia en la barra de tiro y potencia al motor.....	63
Tabla 3. 10. Consumo de combustible en el motocultor Ducati 13000.....	64
Tabla 3. 11. Resultados de capacidad de trabajo teórico con el arado de palo	69
Tabla 3. 12. Resultados de capacidad de trabajo teórico con el arado surcador (Motocultivadora DUCATI).	69
Tabla 3. 13. Resultados de capacidad de trabajo efectivo y tiempo efectivo en el arado de palo	70
Tabla 3. 14. Resultados de capacidad de trabajo efectivo y tiempo efectivo en el arado surcador	70
Tabla 3. 15. Análisis comparativo de costos de labranza con los arados	71

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. 1. Perfil típico del suelo agrícola.....	21
Figura 1. 2. Plántulas de maíz que no emergió debido a las condiciones de suelo compactado, quedando malformado y enroscado.	22
Figura 1. 3. Cama de siembra en el perfil del suelo.....	25
Figura 1. 4. Rastra de disco, subsolador y surcador en una sola estructura de soporte.	28
Figura 1. 5. Labranza con yunta de buey.	29
Figura 1. 6. Arado rotativo.	32
Figura 1. 7. Arado cincel y rastra.....	32
Figura 1. 8. Arado Subsolador.....	33
Figura 1. 9. Rastra de discos.....	35
Figura 1. 10. Retrofresadora de rotor horizontal.	36
Figura 1. 11. Rastras y rastrones de tiro animal.	37
Figura 1. 12. Rodillos compactadores.	38
Figura 2. 1. Mapa departamental, provincial y distrital del campo de experimental.	39
Figura 2. 2. Imagen satelital de la ubicación de la Comunidad de San Rafael.....	40
Figura 2. 3. Dinamómetro de 1000 kg de capacidad.	45
Figura 2. 4. Cálculo de velocidad de trabajo.....	45
Figura 3. 1. Arado de palo.	53
Figura 3. 2. Partes del arado de palo.	54
Figura 3. 3. Yugo.....	55
Figura 3. 4. Motocultivadora DUCATI DTL13000 de 13 HP de potencia.....	56
Figura 3. 5. Comparación de la velocidad de trabajo.....	62
Figura 3. 6. Medición de la fuerza de tiro en el arado de palo y surcador en la motocultivadora.....	63
Figura 3. 7. Labranza de suelos con surcador.....	67
Figura 3. 8. Arado surcador.....	68

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A Panel fotográfico	77
Anexo B Análisis físico del suelo	87
Anexo C Planos de motocultivadora y surcadora	90

INTRODUCCIÓN

La labranza primaria es la primera labor agrícola dentro de un conjunto de actividades, cuya finalidad es la preparación del are de cultivo y dejarlo en óptimas condiciones físicas donde se instalará el cultivo y que durante el desarrollo vegetativo de las plantas el sistema radicular pueda abarcar el mayor volumen de este suelo laboreado y pueda absorber con mucha facilidad el agua y los nutrientes minerales disponibles en el suelo agrícola; constituyendo de este modo una actividad previa a la siembra el cultivo, esta remoción del suelo se realiza mediante el uso de herramientas manuales, de tracción animal o tracción mecánica, según el tamaño de la parcela y también de la tecnología disponible en el lugar de trabajo.

La preparación de suelos agrícolas para el proceso de la siembra de los cultivos alimenticios es una primera actividad prioritaria para la obtención de los alimentos de los pobladores rurales desde los orígenes de la agricultura en todos los ámbitos de la humanidad, se laborearon en un inicio con herramientas rústicas de piedra ó madera, utilizando como fuente de energía la fuerza humana o la tracción animal posteriormente; luego esta labor desde los principios del siglo XX se realiza mediante la mecanización agrícola utilizando los tractores agrícolas, esta tecnología ha permitido avances espectaculares en la tecnología de la producción agrícola paralelamente con introducción nuevas variedades altamente productivas; de modo que la labranza convencional (roturación y volteo e la prisma de suelo) permite que las áreas de siembra aumenten ya que incrementa la eficiencia de las labores y mejora las propiedades del suelo en la capa arable. Pero bajo condiciones desventajosas porque también en algunos casos ha permitido la degradación del suelo, cuyo final es la desertificación del mismo. Se considera que presentan erosión moderada a severa el 80% de los suelos agrícolas en el mundo, y erosión ligera a moderada de 10% (Cade et.al., 2012). La labranza tradicional mecanizada tiende gradualmente a incrementar el proceso de la erosión y la densidad de los suelos, induciendo a la compactación, desestructuración y pérdidas del suelo por la erosión, especialmente en prácticas agrícolas como laboreo, nivelación y tráfico de maquinaria pesada en condiciones de humedad alta a mayor profundidad con impactos erosivos sobre el suelo.

Las comunidades alto andinas de la sierra del Perú están habitadas por pequeños agricultores que en su mayoría tienen parcelas agrícolas pequeñas y menores a una hectárea, las mismas que no se pueden labrear con los tractores agrícolas

convencionales por las limitaciones de espacio; entonces bajo estas condiciones perdura la tecnología de labranza de suelos con el arado de palo tradicional, el cual ante la escasez de bueyes criollos para la tracción se puede sustituir con el uso de las motocultivadoras de hasta 20 HP de potencia.

El objetivo general en el presente trabajo de investigación fue evaluar y comparar las características y potencialidades técnicas - económicas de la yunta de buey con una motocultivadora DUCATI DTL 13000 en la labranza de suelos con el arado surcador.

Así mismo, los objetivos específicos fueron:

- Determinar las características físicas del campo de cultivo bajo las condiciones del campo experimental de la comunidad de San Rafael – Socos – Ayacucho.
- Determinar las características y potencialidades técnicas - económicas de una motocultivadora DUCATI DTL 13000 y el arado de palo en la labranza de suelos.
- Analizar y comparar la factibilidad técnica y económica de sustituir la yunta de buey con una motocultivadora DUCATI DTL 13000 en la labor de labranza de suelos.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Investigaciones relacionadas a la investigación.

1.1.1 Investigaciones Internacionales

Quimís-Guerrido et. Al (2020), concluye:

El trabajo de investigación se realizó en la Finca Juanito, ubicada en el cantón Jipijapa, provincia de Manabí, Ecuador, en las coordenadas 1°19'46" S y 80°35'3" O. El objetivo del estudio fue evaluar el rendimiento tecnológico, la eficiencia operativa y la calidad del trabajo de la motocultora DONGFENG DF 151L equipada con un rotovator para la preparación del suelo en el cultivo de maíz. Para evaluar las características del sitio de estudio y realizar un análisis tecnológico-operativo de la motocultora DONGFENG 151L, se aplicaron las metodologías descritas en las normas cubanas NC 3447:2003 y NC 3437:2003. Los análisis de laboratorio realizados en INIAP y UTM determinaron las propiedades físico-mecánicas del suelo y la distribución granulométrica según la norma AASHTO T-88. Los resultados mostraron que el suelo era adecuado para el cultivo de maíz, caracterizado por una textura arcillo-limosa, una densidad aparente de 1,28 g/cm³, un contenido de humedad gravimétrico del 13% y una resistencia a la penetración de 1,8 MPa, lo que indica que la compactación del suelo no obstaculizaría el cultivo. Además, la obstrucción por residuos de cultivo fue mínima, con 0,21 kg/ha. Las tasas de productividad horaria durante el tiempo de trabajo limpio (W01), el tiempo de operación (W02) y el tiempo productivo efectivo (W04) se situaron en torno a 0,04 ha/h, lo que se considera satisfactorio. Los coeficientes de explotación se acercaron o alcanzaron 1,0, lo que refleja la alta fiabilidad y seguridad operativa del motocultor. Las evaluaciones de rendimiento tecnológico confirmaron que la DONGFENG 151L cumplía con los estándares agrotécnicos para la siembra de maíz. El ancho de trabajo, la profundidad de labranza y la velocidad fueron de 0,69 m ± 0,01 m, 14,6 cm ± 1,3 cm y 1,28 km/h ± 0,06 km/h, respectivamente. El tamaño de los terrones, de < 2,38 mm a 9,5

mm, fue óptimo para la producción de maíz. La humedad del suelo se logró mediante la lluvia natural, y las semillas de maíz se sembraron directamente con una pala manual.

Nwakaire *et. Al.* (2018). En la Universidad de Nigeria investigó:

Se realizó la reparación y adaptación de un tractor de dos ruedas GUTBROD-WERKE/80 para mejorar su la evaluación de su funcionamiento y su posterior desempeño en el campo. Se realizaron inspecciones físicas y mecánicas para conocer el estado del tractor. Las fallas observadas fueron; Carburador oxidado y atascado, bobina de inducción dañada, control de combustible oxidado, ruedas atascadas, neumáticos desgastados y sin base para accesorios. Las fallas fueron corregidas mediante el diseño de bridas de acoplamiento para fijación de implementos; Reemplazo de carburador y piezas desgastadas. El tractor fue probado mediante la realización de una evaluación de campo utilizando ecuaciones y procedimientos estándar. Los resultados obtenidos mostraron que la eficiencia del campo y la capacidad efectiva del campo fueron 61,50% y 0,032ha/hr respectivamente. El consumo de combustible fue de 0,43 l/h con una profundidad y un ancho de corte de 8,94 cm y 27,46 cm respectivamente con un contenido medio de humedad del suelo del 13,2 %. El tiro del implemento y la tracción de la barra de tiro fueron 1,13 kN y 0,43 kW respectivamente. El rendimiento del tractor demuestra su idoneidad para trabajos agrícolas pequeños.

Daquilema y Pulla (2014) Concluye:

En la provincia ecuatoriana de Chimborazo, la agricultura se practica principalmente en pequeñas unidades de producción que a menudo carecen de las herramientas y equipos necesarios para mejorar la eficiencia y promover la agricultura sostenible. Para responder a este desafío, la Facultad de Mecánica ha emprendido el diseño y desarrollo tecnológico de varios implementos compatibles con una cultivadora a motor, incluyendo un arado de cincel, un remolque, ruedas especiales para terrenos inclinados y una segadora rotativa. El proyecto utilizó principios de ingeniería concurrente junto con la metodología de diseño de Pahl y Beitz, que consta de cuatro etapas clave: planificación del producto, diseño conceptual, diseño general y diseño detallado. Durante el proceso de construcción del prototipo, se consideraron cuidadosamente todas las especificaciones técnicas para garantizar la funcionalidad y la adaptabilidad a las condiciones agrícolas locales. Basado en pruebas de campo: El remolque soporta una carga de hasta 750 kg y es fácil de maniobrar. El arado de cincel opera a una profundidad de 20 cm con un ancho de trabajo ajustable de hasta 40 cm. Las ruedas conectadas a los neumáticos del cultivador garantizan estabilidad en pendientes de

hasta 25°. El modelo de segadora virtual ofrece un rendimiento similar al de modelos comparables en cuanto a peso, transmisión y sistemas de corte.

1.1.2. Investigaciones Nacionales.

Alva (2016) precisa que:

En la sierra peruana, la agricultura familiar se basa tradicionalmente en herramientas manuales como la yunta y la palanca. Sin embargo, no existen estudios previos que analicen las condiciones técnicas de trabajo asociadas con los métodos tradicionales o mecanizados en este contexto, ni se hayan realizado comparaciones en cuanto a costos laborales y productividad. Este estudio tuvo como objetivo evaluar los aspectos técnicos de ambos sistemas —incluyendo el tiempo de trabajo, la profundidad de labranza y el tamaño de las partículas del suelo— y determinar los costos laborales y los rendimientos correspondientes para los agricultores familiares. Además, la investigación evaluó la adecuación de la mecanización con motocultores a las necesidades específicas de la agricultura familiar en la región. Los resultados demostraron que la labranza manual genera mayores costos y resulta en menor productividad en comparación con las alternativas mecanizadas. En cambio, los motocultores demostraron ser eficientes y adaptables a las necesidades de los agricultores familiares en los Andes. Las evaluaciones de campo consideraron el acceso vial a las parcelas y los tipos de parcelas —incluyendo laderas, terrazas y andenes—, y compararon el uso de diferentes herramientas (yugos, palancas y cultivadores) en términos de tiempo, esfuerzo, distancia recorrida y calidad del suelo después de la labranza. Estas evaluaciones se llevaron a cabo en la comunidad rural de Barrio Bajo de Matucana entre julio de 2014 y enero de 2015. Los resultados revelaron que, con los métodos tradicionales, los agricultores gastaron aproximadamente 2000 nuevos soles por hectárea, logrando un rendimiento de aproximadamente 120 m²/día en laderas en barbecho, y 2300 soles por hectárea por 100 m²/día en terrazas en barbecho cubiertas de kikuyo. En cambio, los costos de la labranza mecanizada oscilaron entre 420 y 1.400 soles por hectárea, con rendimientos que variaron entre 420 y 2.020 m²/día, dependiendo de la complejidad del suelo.

Tejada (2022); concluye en:

El objetivo de este estudio fue diseñar equipos de labranza que reduzcan la demanda de mano de obra y el costo de la preparación del suelo, a la vez que fomenten la sostenibilidad de los sistemas agrícolas familiares. La investigación siguió un enfoque participativo, con la colaboración de agricultores locales, mediante una metodología de

ensayo y error a lo largo de un año, de abril de 2016 a abril de 2017. Se llevaron a cabo pruebas de campo en las provincias de Cajamarca, Cajabamba y San Marcos., con el objetivo de transformar un prototipo experimental de labranza en un modelo industrial completamente funcional, a la vez que se evaluaba su rendimiento en diversas actividades agrícolas. Se diseñaron y construyeron tres versiones de implementos de labranza: el Cultivador INIA con Rueda el Cultivador INIA sin Rueda y el INIA Tip. El cultivador con ruedas puede operarse con tracción animal o humana, mientras que la versión sin ruedas se limita a la tracción animal. El INIA Tip está diseñado para montarse en un arado tradicional de madera, lo que mejora su eficiencia general. El uso del Cultivador INIA demostró potencial para reducir la mano de obra y los costos asociados con tareas agrícolas comunes como aflojar el suelo, desherbar y aporcar. El equipo demostró ser técnicamente eficaz y económicamente viable, adaptándose a los recursos productivos disponibles de los agricultores y a sus prácticas culturales y agrícolas existentes.

Galindez (1981), Esta tesis surge de una iniciativa de investigación desarrollada por la Universidad Nacional Agraria de La Molina y propuesta al Ministerio de Agricultura y Alimentación. El proyecto fue llevado a cabo por el Departamento de Mecanización Agraria de la universidad, y el autor de la tesis fue uno de sus colaboradores activos. El objetivo principal del estudio es evaluar las herramientas agrícolas tradicionales, incluyendo equipos de tracción animal como el arado de pértiga y diversos implementos manuales, para explorar posibles mejoras en el diseño del arado de pértiga. Esta herramienta desempeña un papel fundamental en las operaciones agrícolas más críticas de los pequeños y medianos agricultores en la altiplanicie andina del Perú. El Valle del Mantaro fue seleccionado como sitio de investigación debido a sus ventajas logísticas: su proximidad a Lima y su diversa gama de condiciones agrícolas, incluidos los tipos de suelo, la topografía, los patrones de uso de la tierra y la producción variada de cultivos, todo lo cual ofrecía un entorno ideal para un análisis exhaustivo.

El trabajo estaba constituido por dos periodos. En la fase inicial se identificaron las herramientas agrícolas tradicionales utilizadas en propiedades rurales pequeñas y medianas, incluyendo áreas donde, a pesar de ser apropiadas para la mecanización, dichas prácticas no eran adoptadas debido a factores como la orografía, limitaciones económicas, malas vías de acceso o presencia de pequeñas parcelas. En el segundo periodo Se diseñaron y fabricaron dos tipos de arados de reja: uno reversible y otro no reversible. Ambos fueron evaluados y comparados con el arado de palo tradicional,

determinándose su requerimiento de potencia, eficiencia en el volteo del suelo y el nivel de fatiga generada tanto en los animales como en el operador. Las capacidades efectivas de trabajo en campo de los arados IA-TA1 no reversible, IA-TA2 reversible y el arado de palo son de 0.049, 0.039 y 0.049 hectáreas por hora, respectivamente. El modelo IA-TA1 no reversible, aunque voltea eficazmente, genera mayor fatiga durante la jornada debido a su mayor peso y ancho de corte. En cambio, el IA-TA2 reversible destaca por su facilidad de manejo, ligereza y buena capacidad de volteo.

1.1.3 Investigaciones Regionales.

Aguilar (2022); indica que:

La investigación se realizó entre los meses de julio y diciembre de 2022. La etapa de laboratorio tuvo lugar en el Laboratorio de Maquinaria Agrícola y Mecánica General de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, mientras que la fase de campo se desarrolló en el Centro Experimental de Pampa del Arco y en el Programa de Pastos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Se analizaron las características técnicas de la motocultora AMET de 18 HP durante la preparación del suelo franco arenoso en el Programa de Pastos. El consumo de combustible fue de 2.68 gal/ha con el arado de disco, 2.76 gal/ha con el arado de vertedera y 1.72 gal/ha con el arado rotativo. La potencia al motor registrada fue de 9.68 HP, 7.05 HP y 15.87 HP, respectivamente, para cada uno de los implementos utilizados.

El arado de vertedera y arado de discos realiza la labranza de inversión, el perfil de suelo se corta e invierte en forma de prismas; Ambos equipos presentan diferencias en su diseño y en su modo de operación, lo que se traduce en variaciones significativas en la calidad del trabajo realizado, especialmente en aspectos como la inversión del suelo, su mullimiento y la nivelación final. Los arados rotativos, por su parte, están diseñados para cortar y mezclar el perfil del suelo mediante un rotor con cuchillas, el cual es impulsado por la toma de fuerza del tractor.

La capacidad de trabajo efectivo del arado de discos, arado de vertedera y arado rotativo fueron: 0.094, 0.078 y 0.189 ha./hr. y los tiempos operativos de 10.6, 12.86 y 5.29 hr./ha, respectivamente en cada método de labranza de suelos, donde el mayor costo es con el arado de vertedera, o sea, 448.7 soles/ha., y el de menor costo arado rotativo 185.15 soles/ha. Se debe a que en el arado de vertedera se tiene un solo cuerpo y por lo tanto durante la labranza tiene que realizar un mayor número de pasadas, mientras que el

arado rotativo al tener 1.5 m en el ancho de trabajo y provisto de un conjunto de cuchillas anchas tendrá también menor número de pasadas y por lo tanto menor tiempo operativo.

Rivera (2021), precisan que:

Entre enero y junio de 2020, se llevaron a cabo una serie de experimentos en el Centro Experimental Pampa del Arco, perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. El estudio se centró en la adaptación de un cultivador multipropósito a una motocultivadora con suspensión independiente, con el objetivo de mejorar la eficiencia de tareas agrícolas como el aporque en la producción de cultivos alimentarios.

Dado el predominio de parcelas pequeñas y fragmentadas en la región de Ayacucho y su limitada idoneidad para tractores agrícolas de gran tamaño, se están adaptando las motocultivadoras disponibles en el mercado nacional para que se adapten mejor a las condiciones agrícolas locales. En este contexto, se modificaron tres herramientas intercambiables: una aporcadora, una erradicadora y una escarificadora, para que se ajustaran a la motocultivadora. Las tres herramientas utilizan un chasis o barra de herramientas común, con diferencias en la forma, el tamaño y la configuración del brazo, adaptadas a las funciones específicas de cada implemento. Estas herramientas se adaptaron específicamente para su uso con una motocultivadora diésel de 18 HP, que servía como fuerza motriz del cultivador. El sistema de acoplamiento tipo barra de tiro se seleccionó por su simplicidad y eficiencia, facilitando un funcionamiento fluido entre la motocultivadora y el cultivador. En términos de rendimiento, la capacidad efectiva de campo osciló entre 0,225 ha/h durante el aporque de papa y 0,262 ha/h durante el deshierbe de trigo. El tiempo de operación más largo se registró con 5,34 horas por hectárea para el cultivo de papa, mientras que el deshierbe de trigo requirió el tiempo más corto con 3,82 horas por hectárea. Una comparación de costos entre la mano de obra manual y las operaciones mecanizadas reveló ahorros significativos, observándose el mayor ahorro en el aporque de papa con 294,10 soles/ha, y el menor en el deshierbe de arveja, que aun así generó un ahorro de 139,30 soles/ha.

1.2. Labranza de suelos

1.2.1 Conceptos básicos de labranza de suelos

La labranza abarca una serie de operaciones primarias y secundarias del suelo destinadas a preparar un lecho de siembra adecuado para un cultivo determinado. La labranza primaria implica la rotura y remoción inicial del suelo, generalmente utilizando

herramientas como arados de reja, arados de vertedera, gradas de discos (incluyendo las de múltiples o rastros) o arados de cincel. En contraste, la labranza secundaria consiste en el refinamiento del suelo y la nivelación de la superficie, utilizando equipos como gradas de discos, gradas de púas, trituradores de terrones, barras deshierbadoras, cultivadores de cincel y vibrocultivadores.

El suelo en sí mismo es un sistema natural dinámico y complejo en constante evolución. En suelos vírgenes o intactos, los cambios ocurren lentamente y a menudo pasan desapercibidos. Sin embargo, una vez que comienza el cultivo, el suelo experimenta cambios rápidos y significativos a medida que se adapta a un nuevo estado de equilibrio, con cambios notables en sus características físicas, químicas y biológicas. Las prácticas de labranza son uno de los principales impulsores de estas transformaciones, alterando fundamentalmente el equilibrio natural del suelo.

En la producción agrícola, la labranza busca modificar el suelo de manera que se ajuste a las necesidades específicas del cultivo y a sus características físicas inherentes, las cuales influyen en la germinación de las semillas y el establecimiento de las plantas. Debido a la gran diversidad de tipos de suelo, climas y recursos disponibles entre los agricultores, no existe un método de labranza universal que se adapte a todos los escenarios. Cada contexto requiere un enfoque a medida para determinar las herramientas y técnicas más apropiadas. Más allá de poseer la maquinaria correcta, una labranza exitosa también depende de tener los conocimientos técnicos para operar, mantener y cuidar adecuadamente el equipo, garantizando un rendimiento eficiente y sostenible.

Berlijn (1989), Define el acondicionamiento del suelo como el conjunto de prácticas físicas orientadas a modificar las propiedades que influyen en la germinación de las semillas y en las siguientes fases del desarrollo del cultivo. Dichas propiedades inciden en las interacciones entre la planta, el suelo, el agua y el aire, condicionando así el crecimiento vegetal.

1.2.2 Propiedades físicas del suelo y el crecimiento de las plantas.

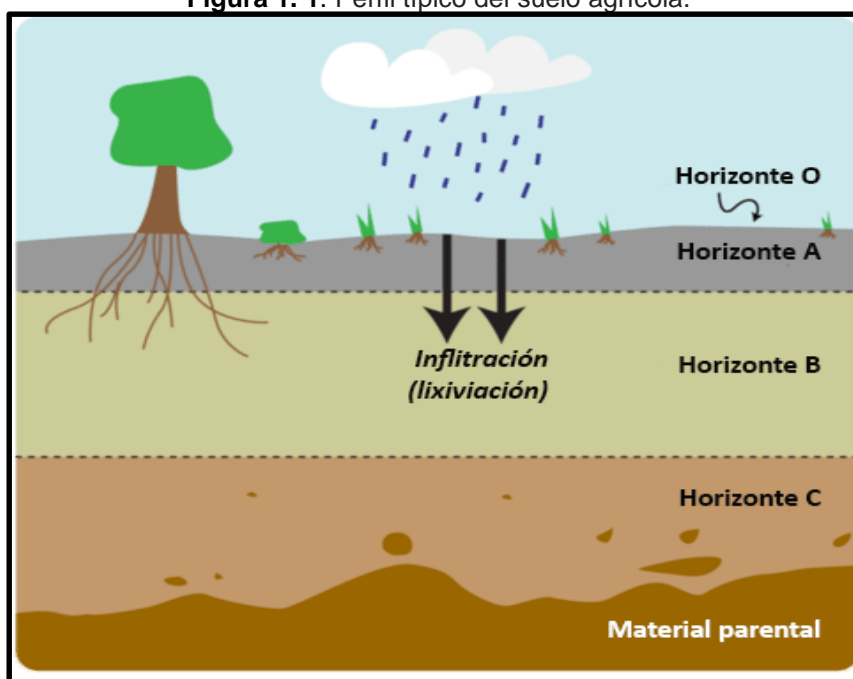
Ortiz-Cañavate (2012), resume las propiedades físicas del suelo relacionado al desarrollo y crecimiento de las plantas en lo siguiente:

a) **Estructura del suelo.** Se refiere a la manera en que se organizan o agrupan las partículas individuales del suelo, como la arcilla, el limo y la arena. Cuando estas partículas se unen forman otras macro partículas de mayor tamaño y las que se denominan agregados; de modo que los agregados del suelo permiten su esponjamiento y la facilidad de circulación del aire y agua en el suelo. Por lo dicho El rendimiento del cultivo está estrechamente relacionado con la calidad de la estructura del suelo. Por ello, el propósito principal de las labores primarias de labranza es alterar temporalmente dicha estructura para lograr una porosidad adecuada, que favorezca el movimiento del agua y del aire en el suelo, facilitando así el desarrollo y la penetración de las raíces.

b) **Aireación del suelo.** Las plantas cultivables se desarrollan de un modo vigoroso por la fácil asimilación del agua y nutrientes en un medio con muy buena aireación, cuando la concentración del CO₂ que rodea sus raíces es poca, pero la concentración del oxígeno es alta. Entonces, la rapidez en la eliminación del CO₂ de la zona radicular del suelo hacia la atmósfera y el rápido ingreso del oxígeno de la atmósfera a la zona radical del suelo es gracias a la buena aeración del suelo y es de importancia fundamental para el crecimiento y desarrollo del cultivo. Al incrementar los espacios de los macroporos del suelo con la labranza de suelos se mejoran las condiciones físicas para la circulación del aire dentro del suelo, originando también la disminución la cantidad de anhídrido carbónico. Sin embargo se debe tener presente que labranzas excesivas o mal con maquinarias pesadas destruyen la agregación y aumentan la densidad del suelo al compactar el suelo y como resultado se reduce la porosidad del suelo, también se reduce la aireación del suelo y la lixiviación del agua

Cuando se realiza una sección vertical del suelo, se observan capas de diferente aspecto, conocidas como horizontes, que en su totalidad constituyen el perfil del suelo. (Ver figura 1.1).

Figura 1. 1. Perfil típico del suelo agrícola.



Fuente: Ortiz-Cañavate (2012)

En el perfil típico de un suelo agrícola se puede observar que a diferentes profundidades existen capas diferenciadas con apariencia diferente a las que se denomina “horizontes” y estos en conjunto se les denominan “perfil del suelo”.

- Horizonte A: Más oscuro, mejor estructura, buen contenido de poros.
- Horizonte B: Subsuelo, acumulación de sustancias solubles y materias coloidales, de menor fertilidad que el horizonte A.
- Horizonte C: Material original, menos afectado por los agentes físicos, químicos y biológicos. Es el horizonte menos fértil.

c) **Compactación.** Se entiende como el aumento de la densidad aparente del suelo y la reducción de su porosidad, resultado de las cargas ejercidas sobre su superficie. Este proceso de compactación en suelos agrícolas impacta de forma negativa en el rendimiento de los cultivos, empezando con una capacidad reducida en la retención del agua y luego la restricción en el crecimiento y desarrollo de las raíces del cultivo. Los suelos agrícolas de alta productividad y buena estructura suelen estar compuestos por cerca del 50 % de materiales sólidos y alrededor del 50 % de espacios porosos, presentando una proporción equilibrada entre macroporos y microporos dentro de dichos poros. La proporción entre macroporos y microporos en el suelo favorece tanto la retención de una cantidad significativa de agua necesaria para el desarrollo de las

plantas, como el intercambio de gases dentro del perfil del suelo, facilitando el suministro de oxígeno a las raíces.

La compactación es un proceso de degradación del suelo ocasionados por la actividad agrícola. Se difiere con las otras formas de alteración del suelo, como es el caso de la erosión o salinización de suelos, es difícil su identificación y cuantificación y definitivamente limita el desarrollo y crecimiento de los cultivos sin hacerse notar en campo. Cuando se notan las evidencias, como el lento crecimiento del cultivo, deficiencias en la nutrición mineral y o una baja infiltración de agua en el suelo, pueden confundirse con causas. Luego las labores agrícolas que cubren áreas más amplias y se extienden por superficies más grandes pueden estar propensos a mayor presión para trabajar en situaciones de excesiva humedad del suelo, agudizando de este modo el problema de la compactación.

Figura 1. 2. Plántulas de maíz que no emergió debido a las condiciones de suelo compactado, quedando malformado y enroscado.



Fuente: Ortiz-Cañavate (2012)

La compactación del suelo tiene un efecto negativo en el desarrollo del cultivo. El desarrollo del cultivo ocurre de manera diversa y a distintas profundidades dentro del perfil del suelo. Además, la forma más grave de compactación de los suelos es la originada por el peso de los neumáticos del tractor agrícola que trabaja en el terreno. La compactación ocasionada por la maquinaria puede ampliarse desde la superficie hasta el subsuelo, donde se forma una capa impermeable al paso de la humedad y requerirá del uso del arado subsolador para resolver el problema. El problema fundamental del suelo compactado

en el proceso productivo es la disminución en la velocidad de infiltración del agua y por lo tanto poca nutrición mineral a las plantas. Los suelos compactados reducen el crecimiento de las raíces de las plantas disminuyendo su capacidad de extraer agua y nutrientes para el crecimiento y desarrollo del cultivo. La disminución del espacio poroso en el suelo disminuye de todos modos la capacidad del suelo en retención de agua, lo que se conlleva a una menor cantidad de agua disponible aprovechable para la planta.

d) **Materia orgánica.** La materia orgánica incrementa la agregación y optimiza la conformación estructural del suelo. Se ha comprobado que el uso constante de labranza influye en la agregación del suelo, deteriorando su estructura, disminuyendo simultáneamente su contenido de materia orgánica. Incorporar materia orgánica en la capa arable del suelo, mediante la labranza de rastrojos de cultivos o de coberturas vegetales naturales o artificiales ya descompuestas, contribuye a mejorar la estructura del suelo y a mitigar los efectos negativos de la compactación. El mismo beneficio se obtiene con la aplicación de estiércol y cal. Para favorecer una descomposición rápida de la materia orgánica, es importante triturar los rastrojos en fragmentos pequeños y permitir que se sequen sobre la superficie antes de ser incorporados al suelo. Además, se recomienda aplicar entre 80 y 100 kg de nitrógeno por hectárea para estimular la actividad bacteriana y acelerar el proceso.

e) **Humedad del suelo.** Es un factor de mayor relevancia en las tareas de preparación del terreno, tanto en las labores de arado como en el rastraje, el grado de humedad del suelo influye en su resistencia a la penetración de los implementos agrícolas, y al mismo tiempo le confiere características de plasticidad que facilitan su adhesión a los instrumentos de agricultura, complicando su funcionamiento. En terrenos muy húmedos, la tracción se altera al incrementar el patinaje y elevar los requisitos de potencia, a causa de la considerable resistencia que proporciona el movimiento del arado.

Un suelo con baja humedad se presenta compacto o duro, pero a medida que aumenta su contenido de agua, se vuelve más fácil de desintegrar. La consistencia friable representa el nivel óptimo de humedad para las labores agrícolas. Esta condición puede reconocerse al tomar un poco de tierra con la mano y notar que se deshace fácilmente al presionarla, sin dejar residuos pegajosos. En contraste, un suelo demasiado húmedo forma una masa al ser amasado y deja restos de arcilla mojada en la mano. Por otro lado, un suelo excesivamente seco produce terrones duros que son muy difíciles de romper.

Cuando el nivel de humedad del suelo aumenta en exceso, este adquiere una consistencia plástica y pegajosa, dificultando notablemente su desintegración y haciendo ineficaz el trabajo de rastraje.. Lo anterior tiene una fuerte conexión con el tipo de terreno. Los terrenos arenosos no presentan estos inconvenientes, sin embargo, cuando el contenido de arcilla se incrementa, es crucial tener en cuenta la necesidad de trabajar el suelo en condiciones friables, debido a su complejidad de manejo. Los terrenos arcillosos requieren un gran compromiso, ya que rápidamente pierden la humedad en primavera, lo que complica su mullido.

Se puede concluir que el aflojamiento del suelo está fuertemente influenciado por su nivel de humedad, lo que hace que el momento de la operación sea más crucial que su frecuencia. Realizar la tarea en el momento óptimo puede influir significativamente en la eficacia del aflojamiento. Al mismo tiempo, es importante recordar que el suelo es más susceptible a la compactación cuando se encuentra en estado friable, por lo que minimizar el tráfico durante este período es clave para evitar la sobrecompactación.

1.2.3 Objetivos de la labranza de suelos.

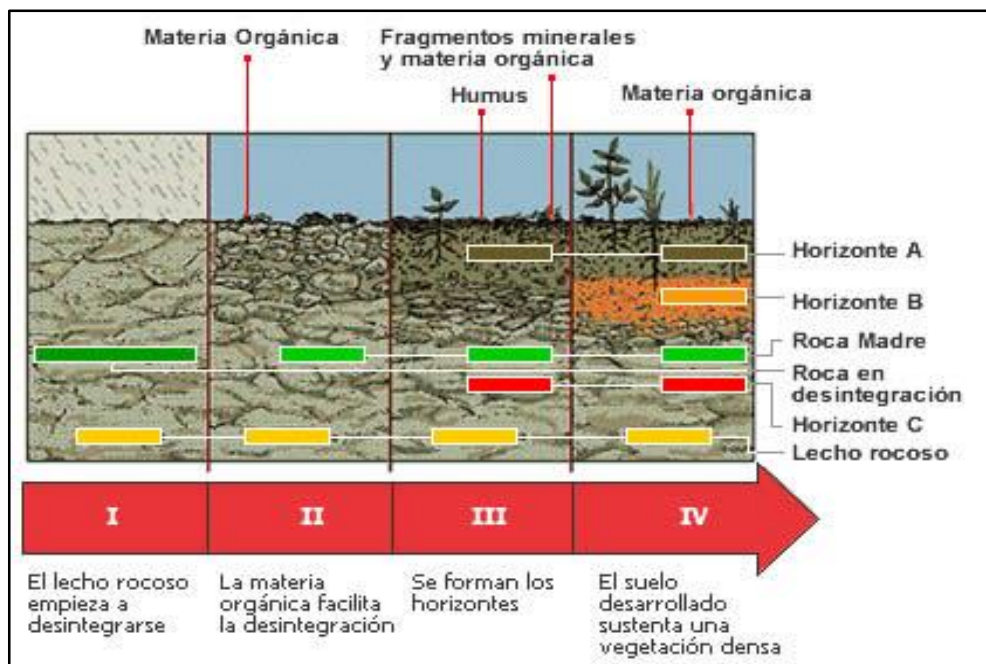
- La remoción del suelo tiene como objetivo generar condiciones propicias para el flujo de agua y gases en la zona arable del terreno, a la vez que promueve el crecimiento radicular del cultivo que se busca instaurar.
- Crear condiciones ideales mediante el mullido del suelo para que la semilla germine.
- Control y eliminación de malezas que rivalizan con el cultivo.
- Incrementar la capacidad del suelo para retener humedad.
- Erradicar los insectos que representan plagas, sus larvas, huevos y sitios de crecimiento.
- incorporar desechos vegetales, fertilizantes y cal, que fomenta un aumento en la actividad de las bacterias y un incremento en la materia orgánica.

No existe orden primordial de relevancia de objetivos propuestos, debido a la gran diversidad de problemas de suelo, humedad, plagas y malezas que existen en los campos, a lo largo del país.

1.2.4 Condiciones de la cama de siembra óptima.

La cama de siembra es la parte del perfil del suelo modificada por las labores de labranza, con el objetivo de generar condiciones óptimas para la siembra, facilitar la germinación de las semillas y asegurar un adecuado crecimiento de las raíces del cultivo. En esta se diferencian los horizontes A y B que tienen diferentes fines y por ende, necesitan distintas características: El primer sector corresponde a las semillas y el segundo a las raíces.

Figura 1. 3. Cama de siembra en el perfil del suelo.



1.2.4.1 Características y condiciones óptimas de la zona de semillas.

La zona destinada a la siembra es la capa más superficial del suelo y debe permitir un aumento adecuado de la temperatura en la superficie, así como mantener una humedad óptima proveniente de las capas más profundas. Generalmente, la preparación del suelo comienza al finalizar el invierno. Al momento de la siembra, esta zona debe cumplir con ciertas condiciones:

a) Profundidad: Para asegurar una siembra efectiva, se requiere una capa superior del suelo de aproximadamente 8 cm, bien mullida, que favorezca la circulación de aire y la acumulación de temperatura necesaria para la germinación. Justo debajo, Es necesario que haya una capa con mayor concentración de humedad, ubicada entre los 15 y 20 cm de profundidad, ya que es en esa zona donde se coloca la semilla. Esta franja inicial del

suelo es crucial para la germinación, por lo que una adecuada preparación garantiza una mejor emergencia de las plántulas.

b) Mullimiento: El grado de desmenuzamiento del suelo debe adaptarse al tamaño de la semilla. Si los terrones son demasiado grandes, se impide un contacto adecuado con la semilla, generando bolsas de aire que la aíslan y dificultan la transmisión de humedad y calor necesarios para germinar. El tamaño de los terrones no debe superar los 3 cm de diámetro. Un mullimiento excesivo tampoco es ideal, ya que puede dañar la estructura del suelo y promover la compactación inducida por el agua.

c) Debe estar libre de malezas: La superficie debe estar libre de malezas, champas y restos vegetales vivos, ya que estas compiten con el cultivo por los nutrientes, el agua y la luz solar.

.d) Compactación: Debe mantenerse lo bastante firme para asegurar una ubicación homogénea para la semilla. En ninguna circunstancia es adecuado que en esta área se genere una compactación excesiva que pueda restringir la penetración de las raíces y el flujo de agua y aire.

e) Humedad: Es imprescindible que posea la humedad requerida para facilitar una adecuada germinación y crecimiento de las plántulas. El trabajo excesivo en el área de semillas airea el terreno y lo seca de manera rápida.

f) Temperatura: En las zonas productoras de papa, este factor resulta fundamental, ya que el tubérculo utilizado como semilla requiere temperaturas del suelo superiores a los 9°C para iniciar su germinación. Estas condiciones suelen presentarse a partir de agosto, especialmente en terrenos con orientación hacia el norte.

1.2.4.2 Características y condiciones óptimas de la zona de raíces.

Esta zona corresponde a la parte más profunda del suelo, donde la planta accede a los nutrientes, al agua y al aire, esenciales para su desarrollo, y debe reunir las siguientes características:

- Requiere un menor grado de mullimiento en comparación con la zona donde se deposita la semilla.
- Debe presentar una estructura granular que facilite la penetración y expansión de las raíces.

- No debe estar compactada, ya que esto mejora la retención de agua y permite una circulación eficiente del aire.
- Es necesario que tenga una profundidad suficiente, de entre 25 y 30 cm, para permitir un buen desarrollo radicular.

Para acondicionar adecuadamente esta área, se requiere una labor de arado profundo. Este tipo de trabajo es el único que asegura una estructura favorable en dicha zona. No obstante, si la profundidad del arado no supera los 28 a 30 cm, es recomendable eliminar las compactaciones presentes en el fondo del suelo arable (conocidas como pie de arado), ya que estas limitan el crecimiento radicular y dificultan la infiltración y el movimiento del agua.

1.2.5 Métodos de preparación de suelos y tipos de labranza

a) Labranza tradicional:

Es el método de preparación del terreno empleado de manera tradicional, y que en ciertos casos todavía es llevado a cabo por pequeños agricultores. Se distingue por el uso constante del arado de vertedera, utilizado para realizar cruza y recruza que transforman el terreno, seguidas de una serie considerable de rastros con marcas de discos o de clavos. Cada paso de arado implica el desplazamiento de una considerable cantidad de terreno, dejando la superficie sin cobertura de vegetación.

La "cruza" se refiere a la segunda aradura que se aplica a un terreno durante la misma estación, efectuándose en sentido contrario a la primera aradura. Es una práctica que se asocia con la agricultura convencional y que no siempre posee una razón precisa; no obstante, cuando se aplica, es esencialmente para solucionar las siguientes circunstancias: Corregir una aradura de profundidad inconsistente y una inversión incorrecta.

- Incrementar la profundidad "cama de siembra", cuando, debido a las propiedades del terreno, no se puede alcanzar la profundidad requerida con la primera aradura.
- Descompactar el suelo que ha sido compactado debido a las precipitaciones. Esta situación es habitual en la elaboración de terrenos arcillosos (vegas).

Como método para facilitar el mullimiento, Se traslada suelo húmedo desde las capas más profundas, al mismo tiempo que se entierran los terrones formados en la superficie. Si se examinan los aspectos previamente mencionados, se puede constatar que en la

mayoría de las situaciones se puede eliminar la cruz, ya que muchos de estos son el producto de manejos incorrectos del terreno.

b) Labranza convencional: Este método de preparación del suelo emplea arados de vertedera o de disco para alcanzar la profundidad requerida e invertir el perfil del terreno. Además, se complementa con pocas pasadas utilizando implementos como rastras de discos o púas, vibrocultivadores, rotofresadoras, rotovatores, entre otros. A diferencia del sistema convencional, este enfoque elimina la necesidad de cruzar y recuzar el terreno, desplazando grandes volúmenes de tierra y dejando la superficie sin cobertura vegetal.

c) Labranza mínima: En respuesta a los múltiples problemas provocados por el laboreo excesivo, se han desarrollado técnicas basadas en el concepto de mínima intervención. Estas reducen el tránsito de maquinaria sobre el terreno al combinar varias labores en una sola operación, disminuyendo así la alteración del suelo y mejorando su conservación.

Figura 1. 4. Rastra de disco, subsolador y surcador en una sola estructura de soporte.



La aplicación de técnicas de labranza mínima no requiere el uso de maquinaria especializada o de alta tecnología. Se pueden emplear herramientas agrícolas convencionales, organizadas en tándem (una tras otra), y utilizadas en el momento adecuado según las condiciones de humedad del suelo. No es necesario un aumento de potencia, ya que los tractores suelen contar con la capacidad suficiente para manejar el esfuerzo adicional derivado del uso conjunto de varios implementos.

En la práctica, los casos más frecuentes implican combinar dos o más labores en una sola pasada, acoplando distintos equipos agrícolas en paralelo al tractor. Por ejemplo,

en ciertos tipos de suelo, una combinación de tractor, arado, rodillo subsuperficial y rastra de clavos conectados en línea puede crear una cama de siembra adecuada en una sola operación. Otros casos incluyen el uso de un rodillo subsuperficial o una serie de púas colocadas detrás del arado para evitar la formación de terrones en suelos de textura media a pesada; o la incorporación de una secuencia de púas o un rastrillo de madera sencillo tras una pasada de discos, lo cual mejora el mullimiento y sella la superficie para conservar la humedad. Actualmente, el mercado nacional de maquinaria agrícola ofrece una variedad de equipos basados en el concepto de labranza mínima, como la rastra combinada de clavos y rodillos. También se destaca el uso estratégico de herramientas como el vibrocultivador, las rotofresadoras, los rotovatores y los cinceles con incorporadores de rastrojo. La tendencia actual ha sido reemplazar los arados de vertedera y de disco por el arado de cincel, con el fin de trabajar a mayores profundidades, movilizand o una cantidad mínima de suelo y sustituyendo el volteo del terreno por métodos de control químico de malezas o mediante el uso de barbechos químicos.

Figura 1. 5. Labranza con yunta de buey.



Los mayores rendimientos con labranza reducida se logran en suelos de textura media. En cambio, los suelos pesados presentan dificultades, ya que son duros cuando están secos y muy pegajosos cuando están saturados de humedad, lo que complica el movimiento de la maquinaria. Sin embargo, estas prácticas pueden aplicarse en cualquier terreno cultivable, siempre que se eliminen obstáculos naturales como piedras y raíces, y se trabajen en condiciones adecuadas de humedad. Actualmente, el cultivo de papa ha avanzado al punto de que existen rotofresadoras capaces de preparar el suelo en óptimas condiciones con una sola pasada.

La reducción del consumo de combustible al sustituir la labranza convencional por la mínima es tan considerable, que permite duplicar la superficie trabajada, o en su defecto, utilizar solo la mitad del combustible que se requeriría con métodos tradicionales.

Otro aspecto importante a considerar es el aprovechamiento del momento óptimo para la siembra, especialmente cuando se emplea una pasada con rotofresadora, lo que permite una mejor sincronización entre la preparación del terreno y la plantación. De este modo, la superficie se acondiciona para sembrarse al día siguiente, sin que las condiciones climáticas representen una limitación. No obstante, a pesar de los avances en la mecanización agrícola, el éxito de los sistemas de labranza mínima depende en gran medida de la destreza del operador, la calidad de las labores realizadas y las características físicas del suelo al aplicar estas técnicas

d) Labranza cero: Al igual que en los cultivos de cereales, la reducción de las labores de preparación del suelo en el cultivo de papa ha avanzado hasta adoptar completamente el sistema de siembra directa o agricultura cero labranzas. En este enfoque, la siembra se realiza directamente sobre el terreno sin remover el suelo, y la semilla se cubre con una capa espesa de rastrojos o paja de cereal, lo que la protege frente a factores ambientales como la luz solar, el viento y las bajas temperaturas, favoreciendo de esta manera el crecimiento del cultivo. Dado que la siembra y gestión del cultivo se llevan a cabo de manera manual, el sistema se encuentra restringido a superficies de tamaño reducido.

1.3 Maquinaria para la labranza de suelos (Hunt, 1991)

Existen diversos tipos de maquinaria diseñados para romper, desmenuzar, nivelar, compactar el suelo, destruir terrones, controlar malezas y triturar los restos de rastrojos del cultivo anterior. Aunque estos equipos presentan diseños distintos, todos están destinados a resolver problemas similares (como los arados de disco y vertederas, vibrocultivadores, y rastras tándem), o para operar en condiciones específicas del terreno.

Para elegir el método de preparación del suelo más adecuado y seleccionar los equipos correctos, es fundamental determinar con precisión las características de la cama de

siembra deseada, así como comprender los efectos que los equipos de labranza actuales pueden tener sobre el suelo.

1.3.1 Maquinaria para la labranza primaria

Los dispositivos de rotura del suelo se categorizan en función de su función: en arados que modifican el perfil del suelo (discos y vertederas), arados que lo combinan (rotativos) y arados que no lo modifican (cinceles y subsoladores).

a) Araduras que invierten el perfil del suelo: Se refieren a las que se llevan a cabo mediante arados de discos y de vertederas. Ambos equipos transforman el terreno, pero con un resultado distinto, principalmente porque su diseño es diferente. Sus propiedades operativas provocan variaciones en la calidad de la aradura, en términos de inversión, mullimiento y nivelación subsiguiente del terreno.

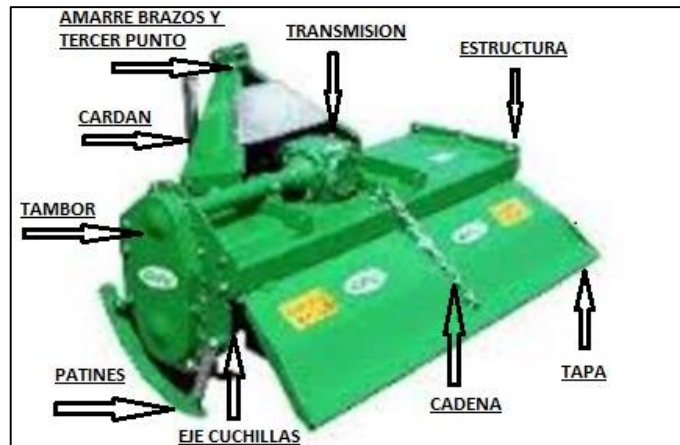
La característica principal de los arados de discos y vertederas es su capacidad para enterrar estiércol, restos vegetales, empastadas descompuestas y otros materiales. Ambos equipos son más efectivos cuando se utilizan en praderas que ya han sido troceadas previamente, para evitar que se atasquen las unidades de torsión. El arado de vertedera es una excelente inversión en terrenos que no han sido labrados antes, ya que, al utilizarse en suelos sueltos, solo desplaza el terreno lateralmente sin invertirlo. En cambio, el arado de discos invierte eficazmente el suelo suelto, creando pequeños desniveles y microrrelieves cuando se usa en praderas.

En terrenos con obstáculos como piedras, troncos o raíces, así como en suelos húmedos y arcillosos, el arado de discos es más adecuado, ya que su unidad rotativa elimina los obstáculos y presenta menor resistencia al suelo (lo que provoca que la tierra se adhiera menos al disco). Sin embargo, cuando no hay obstáculos, es preferible utilizar el arado de vertedera, que asegura una mejor nivelación, un aspecto clave especialmente en terrenos destinados a riego

b) Araduras que mezclan el perfil del suelo:

Los arados rotativos son herramientas de labranza que requieren una gestión cuidadosa, ya que pueden sobretrabajar el suelo y modificar sus propiedades estructurales. Sin embargo, cuando se ajustan las revoluciones a las condiciones del terreno, son muy eficientes por su rapidez y facilidad de uso

Figura 1. 6. Arado rotativo.



Las cuchillas montadas en un rotor, impulsado por el eje del tractor, cortan fragmentos de tierra y los lanzan contra la carcasa del arado, completando así el proceso de mullimiento. El tamaño de los fragmentos depende de la velocidad de movimiento y las revoluciones del rotor. La mayoría de los diseños permiten una amplia gama de revoluciones, gracias a una caja de velocidades integrada. Este equipo se utiliza para cortar desechos y romper terrones, pero requiere una gran cantidad de potencia del eje de transmisión del tractor, además de alterar la estructura del suelo, lo que puede resultar en un mullimiento excesivo.

c) Araduras que no alteran el perfil del suelo: Los cinceles, arados y subsoladores son herramientas agrícolas que ayudan a desmenuzar el suelo sin modificar su perfil, creando grietas a través de la acción de uno o más cinceles fijados a un vástago o brazo conectado a un marco portaherramientas. La diferencia entre estos equipos radica en la robustez de su estructura, la intensidad de trabajo y el número de cinceles utilizados.

Figura 1. 7. Arado cincel y rastra.



Este tipo de labor necesita terrenos bastante secos para generar las grietas o fracturas en el suelo. El cincel cortaría suelos húmedos como si fuera un cuchillo, sin generar el efecto de resquebrajación esperado.

Sin embargo, cuando el suelo está seco, ofrece mayor resistencia al arado, lo que incrementa significativamente la demanda de potencia, siendo esta proporcional tanto a la profundidad de trabajo como al número de cinceles del implemento utilizado.

El arado cincel se considera la herramienta más adecuada para romper capas compactadas conocidas como 'pie de arado', mejorar la capacidad del suelo para retener agua y conservar su estructura y nivelación. Su ventaja principal radica en que permite ampliar la cama de siembra sin necesidad de voltear el suelo ni generar desniveles en la superficie, lo que lo convierte en una opción eficaz para la preparación inicial del terreno y para alcanzar la profundidad requerida. La distancia entre los cinceles se define según el alcance de las grietas o fracturas generadas, siendo fundamental que estas se crucen correctamente para asegurar una labor homogénea en todo el perfil del suelo

El arado subsolador trabaja a una profundidad de hasta 30 cm y es muy eficaz para romper compactaciones, ya sean naturales o causadas por el paso de maquinaria o animales. También se utiliza para mejorar el drenaje, incorporando un balín en el tubo del equipo para formar galerías subterráneas, conocido como arado topo. En esta situación, en contraposición a la norma, se opera en terreno húmedo, ya que no es primordial soltar o desgastar el terreno, sino construir galerías subterráneas para eliminar el sobrante de agua.

Figura 1. 8. Arado Subsolador.



El uso del subsolador en un terreno seco genera fisuras de diversas longitudes, dependiendo del equipo empleado, la humedad y la consistencia del suelo. Para establecer la separación entre las "pasadas del subsolador", es necesario medir el ancho de las grietas utilizando una calicata y diseñar la separación entre las "pasadas" de manera que se crucen. Es igualmente crucial la correcta profundidad de trabajo del subsolador, ya que si la bota trabaja demasiado profunda y no en la zona compacta que se busca que se agriete, el trabajo se torna ineficiente. Dada la alta circulación de maquinaria, característica de la agricultura mecanizada contemporánea, se aconseja subsolar los terrenos cada 4 a 5 años.

1.3.2 Maquinaria de labranza secundaria

El objetivo principal de las labores superficiales es preparar la zona de siembra mediante el uso de diversas herramientas. Entre sus metas fundamentales se encuentran el mullimiento del suelo, la nivelación, el control de malezas y la compactación necesaria para asegurar el adecuado crecimiento del cultivo.

La agricultura moderna dispone de una amplia gama de equipos para llevar a cabo esta tarea, tales como rastras de discos, clavos, resortes, escardillos, vibrocultivadores, rotofresadoras, rotovatores, rastrones niveladores, niveladoras de microrrelieves, rodillos, entre otros.

a) Rastra de discos: Es un instrumento muy habitual en nuestro entorno y extensamente difundido en toda la zona de papel. Es empleada principalmente para mullir el terreno y regular las plantas en el área de siembra. Hay dos modelos fundamentales que varían en la disponibilidad de los discos y las estructuras del armazón: rastras de discos desplazados offset y rastras de discos tándem.

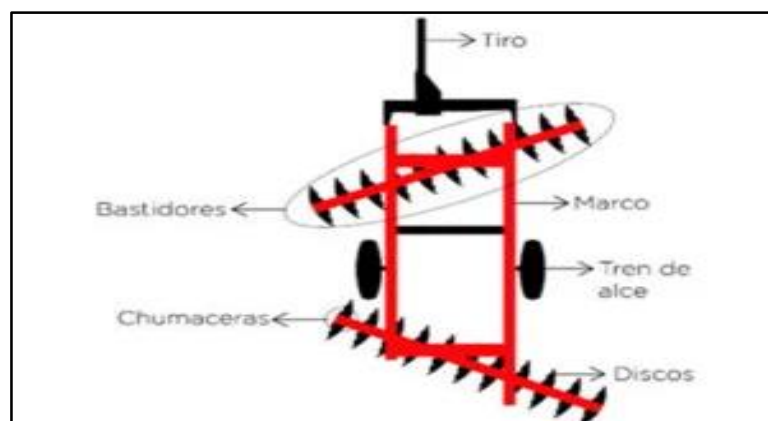
La «eficiencia» de la rastra de discos depende de varios factores:

- Peso del equipo.
- Tamaño, concavidad, filo y ángulo de ataque (traba) de los discos.
- Velocidad de trabajo.
- Contenido de humedad del suelo.

Este equipo funciona cortando tiras estrechas de tierra mediante un movimiento lateral para lograr el mullimiento del suelo. Además, corta los restos vegetales de la cubierta en fragmentos de diferentes tamaños, lo cual depende de las dimensiones del equipo,

las condiciones del terreno y la obstrucción de los componentes de la rastra. En relación con la gestión de malezas, este equipo se dirige a las nuevas plantaciones, desarraigándolas para que el sol y el viento finalicen su aniquilación. Este dispositivo también se puede emplear para cortar las praderas como tarea antes de su incorporación.

Figura 1. 9. Rastra de discos.



Este equipo se comporta cortando franjas estrechas de tierra mediante un movimiento lateral para causar su mullimiento. Además, seccionan los desechos de vegetación de la superficie en fragmentos que dependen de las medidas del equipo, las características del terreno y la traba de los cuerpos de la rastra. En cuanto a la gestión de malezas, este grupo se dirige a las nuevas plantaciones, desarraigándolas para que el sol y el viento finalicen su aniquilación. Además, este equipo puede ser empleado para cortar las praderas como tarea antes de su incorporación.

Es crucial prestar atención al uso excesivo de estos dispositivos, ya que su agresividad afecta considerablemente la estructura del suelo, y su acción cortante favorece la proliferación de especies que se reproducen asexualmente, como la chéptica, la zarzamora y otras. No es conveniente utilizar una rastra de discos para lograr el mullimiento deseado en terrenos de textura franca que se desintegran fácilmente, ya que existen equipos más eficientes, con costos operativos más bajos y mejores resultados, como las rastras combinadas de clavos y rodillos, los vibrocultivadores, entre otros.

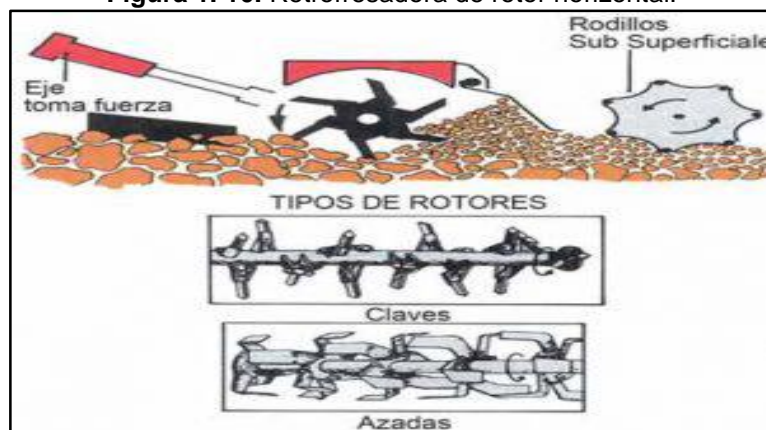
b) Rastras combinadas:

Estos equipos son altamente eficientes para preparar la zona destinada a la siembra. Salvo en circunstancias muy específicas, suelen reemplazar a la rastra de discos en una amplia variedad de labores, gracias a su bajo costo operativo y alto nivel de productividad. Funcionan bajo el concepto de labranza mínima, permitiendo realizar múltiples tareas en una sola pasada. Existen versiones combinadas con resortes, vibrocultivadores o clavos rígidos. Para trabajos más profundos —cercanos a los 10 cm— se recomienda el uso de vibrocultivadores, debido a su mayor capacidad de penetración, aunque ambos tipos de implementos realizan eficazmente el acondicionamiento de la cama de siembra.

La utilización de rastras combinadas, similar al arado, y otros equipos que operan en la zona de semillas, como el mullido del suelo y control de malezas, alcanza su máxima efectividad cuando se operan a velocidades superiores a 8 km/h, lo que permite una mayor capacidad de trabajo. Un diseño de rastra combinada que se ha incorporado recientemente en la agricultura nacional es la rastra de clavos rotativos, que se activa por el eje que recibe la fuerza del tractor.

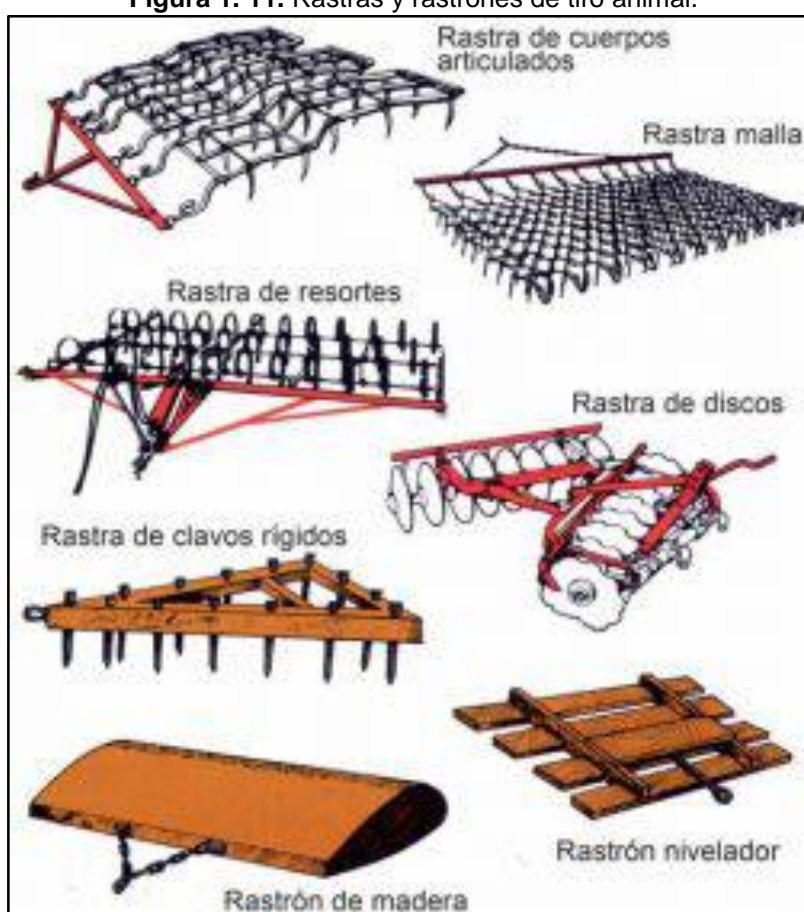
Existen diversos diseños para la unidad de rotura, destacando el sistema de rotor horizontal con clavos o azadas, y el rotor vertical con clavos rotatorios y oscilantes. La intensa fuerza mecánica aplicada al suelo brinda a este equipo condiciones especiales para el mullimiento de terrones y corte de praderas, especialmente en condiciones extremas como suelos arcillosos secos y praderas densas y duras. Aunque es la herramienta más adecuada para cortar praderas de gramíneas antes de incluirlas en las tareas de preparación del suelo, su uso no debe generalizarse, ya que requiere una gran cantidad de energía motriz y un esfuerzo adicional en el sistema de transmisión del tractor.

Figura 1. 10. Retrofresadora de rotor horizontal.



c) **Rastras de resortes, clavos y rodillos:** También son muy eficaces para mejorar el acabado final de la cama de siembra. Las dos primeras se utilizan con mayor frecuencia para controlar las malezas en las etapas iniciales de su desarrollo. Al igual que las rastras combinadas, es recomendable que operen a altas velocidades para asegurar un adecuado mullimiento del suelo y la eliminación de malezas. Los rodillos, tanto lisos como corrugados, que pueden ser de funcionamiento superficial o subsuperficial, tienen como objetivo completar el mullimiento del terreno y compactar la cama de siembra para proporcionar la firmeza necesaria que permita mantener la unidad de siembra en su lugar.

Figura 1. 11. Rastras y rastrones de tiro animal.



El mercado de maquinaria ofrece una variada selección de equipos diseñados para labores superficiales, tanto de tracción mecánica como animal, lo que permite a los usuarios escoger la herramienta que mejor se adapte a su disponibilidad energética. En cuanto a los rodillos más comunes en nuestra región, se incluyen modelos de madera, metálicos con capacidad de llenado con agua, y los de acción combinada. Estos últimos incorporan una doble hilera de rodillos corrugados junto con una rastra de resortes en

su interior, siendo altamente eficaces para desmenuzar terrones y culminar el afinamiento del área de siembra.

d) Niveladoras de micro relieve o rastrones: Habitualmente, las niveladoras de microrelieve se utilizan para conservar el terreno en condiciones que permitan realizar siembras precisas, como ocurre con el cultivo de remolacha. En el caso de las papas, se pueden usar rieles o rastrones para perfeccionar la cama de siembra una vez finalizada la preparación del suelo. Estos implementos también suelen utilizarse después de la siembra para eliminar el excedente dejado por la sembradora o para alisar y compactar la superficie del terreno cuando la siembra se realiza de forma manual.

Figura 1. 12. Rodillos compactadores.

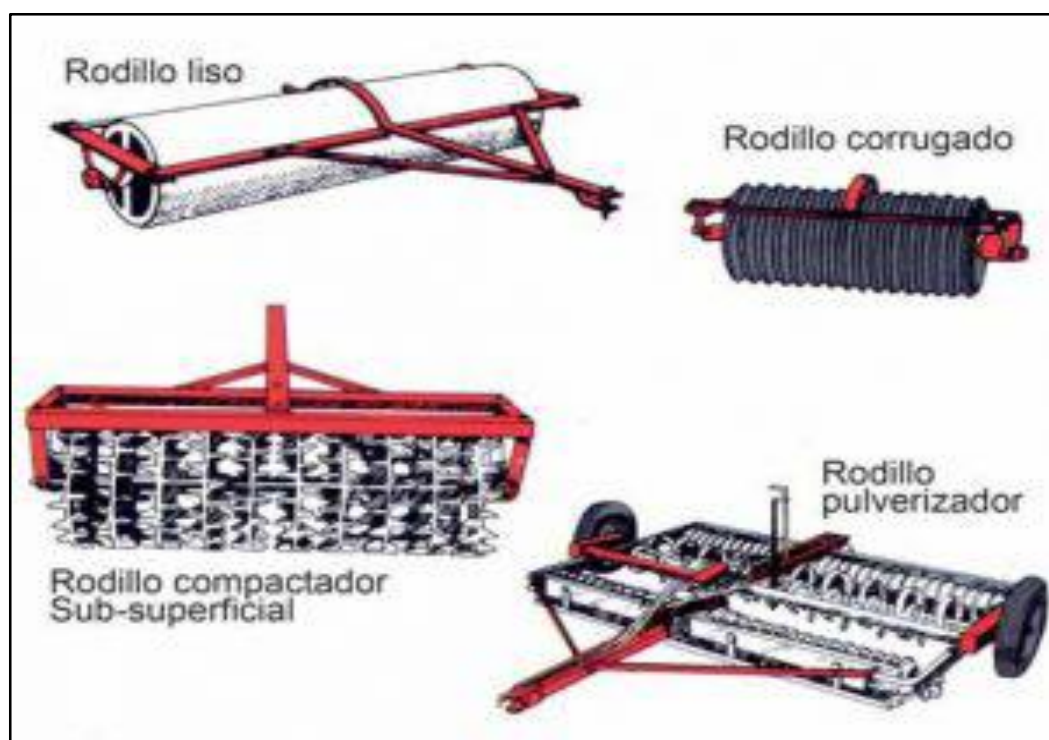


Figura 2. 2. Imagen satelital de la ubicación de la Comunidad de San Rafael.



2.1.2. Muestreo de suelo

La muestra de suelo tomada para el presente trabajo es representativo a la parcela donde se realizó las pruebas de campo. La metodología establecida para el recojo de muestras a intervalos preestablecidos en la capa arable del suelo, permite obtener una muestra representativa del campo de cultivo y se siguió el siguiente protocolo:

- La submuestra se toma penetrando una con una pala recta en el suelo correspondiente a se extrae una prisma. Se realiza cortes verticales con la herramienta en referencia hasta cubrir la capa arable del suelo.
- Se fracciona una porción del suelo extraído a la profundidad indicada y se coloca en una bolsa de plástico sucesivamente de todo el campo de cultivo.
- Se elimina los materiales orgánicos, restos de plantas y desechos orgánicos que hubiere en el suelo.
- De cada submuestra se ha tomado una cantidad similar de suelo que se mezcla con las otras submuestras obtenidas.

- Luego de haber recogido las submuestras representativas de todo el campo de cultivo, se desmenuzan y se mezclan manualmente dentro del recipiente.
- Finalmente, se obtiene un volumen de cerca de 1/2 kg o 1/2 litro (máximo 1 kg), lo que representa una "muestra combinada" representativa del sector que se ha estudiado.
- La muestra del terreno se almacena en una bolsa de plástico y se reconoce con un plumón de tinta imperceptible.
- En el rotulado se debe consignar la información de lugar y fecha al que corresponde la muestra de suelo.

2.1.3. Análisis físico – químico del suelo

Las características físicas y químicas obtenidas en el Laboratorio a partir de las muestras de suelo obtenidas en campo nos permitirá relacionar las propiedades físicas del suelo con la labranza de suelos realizada en el campo de cultivo, Para ello, se emplearon diversas muestras que finalmente se combinan, logrando así una porción uniforme de un kg., aproximado, el cual es entregado al Laboratorio de Suelos y análisis Foliar " NICOLAS ROULET" del Programa de Investigación de Pastos y Ganadería en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga,

2.2. Determinación de las propiedades físicas del suelo agrícola.

Las propiedades físicas del suelo se evalúan para determinar las cantidades de agua y aire que se puede disponer en el suelo, el estado de compactación que pueda resistir a la penetración radicular de las plantas y aspectos referentes a la absorción de elementos nutrientes de la planta.

2.2.1. Textura del suelo (Método del hidrómetro o de Bouyoucos)

Es un método veloz en el que el hidrómetro evalúa la densidad del medio, la cual cambia directamente con la cantidad de partícula suspendida. Ocurre una mezcla química que incluya Sodio y una dispersión física. Una vez llevadas a cabo, se procede a ubicar la suspensión en un contenedor normalizado. Es necesario documentar la temperatura del agua del ensayo, dado que el procedimiento se normalizó a 20oC. Si se diferencia, se debe ajustar conforme a la tabla. En nuestra situación, las mediciones se llevan a cabo

a los 40 minutos (limo y arcilla) y a las 2 horas (arcilla). Se extrae el total de arenas en función de la diferencia con los resultados de la primera lectura. Se establece la clase textural utilizando los datos recabados. Para establecer las diferentes fracciones de arena, es necesario efectuar un tamizado. Los resultados de este procedimiento son apropiados, siempre que los suelos no sean orgánicos, ni calizos, ni salinos. Esto significa que no sean abundantes en coloides no texturales, ni en elementos floculantes, que no se suprimen mediante este procedimiento. Si existe una gran cantidad de materia orgánica o un elevado porcentaje de carbonato cálcico, pueden surgir los pseudo-limo y pseudo-arenas. Si el contenido de sales es elevado, los coloides se floculan. Los límites críticos donde se pueden confiar los valores de textura se presentan en terrenos con menos del 5% de materia orgánica y menos del 5% de carbonato cálcico.

2.2.2. Calidad estructural a campo (CVC)

En los últimos años, se han logrado avances importantes en la evaluación visual y manual de la calidad estructural del suelo en campo. Se desarrolló un método práctico, accesible, económico, fácil de comprender y de carácter semicuantitativo, denominado "Evaluación Visual de la Estructura del Suelo" (CVC, por sus siglas en español). Este enfoque utiliza una serie de criterios específicos para determinar el estado estructural del suelo.

- El tamaño,
- resistencia,
- Porosidad,
- Raíces y
- Color.

La escala de calidad estructural (conocida como Sq) oscila entre 1 y 5, donde 1 representa una buena estructura del terreno y 5 indica una estructura deficiente del mismo.

Los factores que pueden aumentar o reducir la puntuación son:

- Grado de dificultad al extraer una muestra del suelo.
- Existencia de agregados de mayor tamaño, con formas angulosas y porosas.
- Presencia de galerías grandes y continuas creadas por lombrices.
- Raíces que crecen en grupos o con desviaciones inusuales.
- Zonas del suelo que presentan una coloración grisácea.

Es fundamental destacar que, en este método, es esencial identificar previamente las capas con estructuras diferentes antes de fragmentar el perfil del suelo, ya que la puntuación final se obtiene al multiplicar el valor asignado a cada capa por su espesor y luego dividir el resultado entre la profundidad total evaluada.

Método para determinar CVC en campo

El método consiste en extraer muestras intactas del suelo del lote a evaluar, utilizando una pala de borde plano. Las dimensiones aproximadas de estas muestras deben ser de 25 a 30 cm de largo (equivalente a la profundidad alcanzada con la pala), 20 a 25 cm de ancho y entre 10 y 15 cm de espesor. Una vez recolectada, la muestra se coloca sobre una superficie plana, como una bandeja, para proceder con el análisis visual de su estructura.

Se lleva a cabo la separación de las unidades estructurales de acuerdo a sus líneas de fragilidad, con el fin de reconocer capas que se distinguen por:

- Las propiedades de los agregados (tamaño, textura y dureza).
- Debido a la existencia y ubicación de las raíces en el interior y exterior de los agregados.
- Debido a la clasificación de los poros visibles.

A cada una de las capas identificadas se le asigna un peso y una calificación (CVC) en una escala del 1 al 5, donde el valor 1 representa la mejor calidad estructural y el 5 la peor. Para determinar el valor ponderado de CVC de cada muestra, se toman en cuenta el grosor de cada capa, su respectivo CVC y la profundidad total del bloque analizado. Los puntajes entre 1 y 3 indican un deterioro leve en la calidad del suelo, que aún no requiere ajustes en el manejo. En cambio, los valores 4 y 5 señalan la necesidad de modificar la rotación de cultivos e implementar prácticas y técnicas mecánicas para mejorar la estructura del suelo.

2.3. Bienes utilizados en campo

Para la cuantificación de los indicadores de la presente investigación se realizaron un conjunto de mediciones durante las pruebas de la labranza en campo y para tal fin se utilizaron diferentes materiales, herramientas, equipos e instrumental de medición.

2.3.1. Materiales y herramientas

A continuación se enumeran los materiales clave empleados para la elaboración de este trabajo de investigación experimental.

- Cordel y sogas.
- Yeso
- Estacas
- Zapapico.
- Comba.

2.3.2. Equipos e Instrumental de medición.

- Motocultivadora DUCATI 1300
- Yunta de buey de 600 kg. Peso promedio.
- Arado de palo y su yugo.
- Arado surcador
- Flexómetro de 5 m.
- Wincha de 50 m.
- Cronómetro
- Dinamómetro digital
- Cámara fotográfica digital
- Balanza electrónica
- Camioneta Hilux.

2.4. Metodología de medición de variables e indicadores.

a) Cálculo de Fuerza en el timón del arado de palo y barra de tiro de la motocultivadora.

La fuerza de tiro en una yunta de buey o en otros animales de tiro se relaciona directamente con su peso y se asemeja o aproxima a una décima parte de éste, en el presente trabajo se mide directamente con un dinamómetro.

En el caso de la motocultivadora, la fuerza de tracción en la barra de tiro es la más empleada. Para medirla, se utilizó un dinamómetro digital con capacidad de hasta 1000 kg. El mismo que nos da directamente la fuerza de tiro; el caso del arado de palo se le acopla entre la parte central del yugo y el extremo anterior del timón amarrando con cables por sus dos extremos del dinamómetro, mientras en la motocultivadora los ganchos del dinamómetro se acoplan a la barra de tiro y el enganche del arado surcador.

Figura 2. 3. Dinamómetro de 1000 kg de capacidad.



b) Cálculo de velocidad

A nivel de los pequeños agricultores la yunta de buey y su arado de palo aún sirve con fuente de energía importante para las labores de labranza de suelos, las bestias de tiro son valiosos y económicos actualmente, en el entorno altoandino de la sierra del Perú. En el presente trabajo se calculó la velocidad evaluando y cronometrando el tiempo necesario que requirió de la yunta de buey y la motocultivadora en 20 metros de trabajo.

Figura 2. 4. Cálculo de velocidad de trabajo.



c) Cálculo de potencia

Una vez obtenido la fuerza de tiro directamente en el timón del arado de palo y en la barra de tiro de la motocultivadora, se multiplica la fuerza de tiro por la velocidad promedio de la yunta de buey o motocultivadora según sea el caso para obtener la potencia desarrollada.

$$P = F * V$$

Dónde:

P = Potencia en la yunta de buey o motocultivadora

F = Fuerza de tiro medido con el dinamómetro

V = Velocidad promedio de la yunta de buey o motocultivadora.

d) Validación de consumo de combustible en la Motocultivadora.

El procedimiento es el siguiente:

- El depósito de la motocultivadora se llena completamente con el combustible apropiado al 100%.
- La válvula de control se despliega para que el combustible ingrese a la bomba de succión e inyección.
- Comenzamos a encender el motor y ponemos en marcha la motocultivadora.
- Se definen los rangos de trabajo siguientes:
 - Funcionamiento básico: Sin pulsar el acelerador, no se puede acelerar.
 - Funcionamiento óptimo: Impulsando a fondo el acelerador.
 - Funcionamiento medio: Impulsando el acelerador a un nivel constante medio.
- 5. Se registran los tiempos de funcionamiento del motor.
- 6. Para los siguientes registros, Con el motor sin encender, se procede a recargar el tanque hasta alcanzar la marca inicial (100%), para verificar el volumen que el motor ha consumido.

e) Cálculo de la tracción unitaria en la labranza.

Como primer indicador de adaptación, se determina la fuerza ejercida sobre el arado aporcador del suelo, que surge como respuesta al paso de la herramienta de corte del arado. Esta fuerza se determina por el tipo de suelo, la cantidad de cuerpos aporcadores y las dimensiones de la herramienta.

$$T_u = \frac{F}{a * p * n}$$

Dónde:

Tu = Tracción unitaria para suelo (Kg/dm²)

F = Fuerza de tracción (Kg.)

a = ancho de labranza (dm)

p = profundidad de labranza (dm)

n = Número de cuerpos del arado

f) Rendimiento o capacidad de trabajo en campo (CTC).

Se define como la cantidad de labor que una máquina puede llevar a cabo dentro de un periodo específico. Esta capacidad puede expresarse como teórica (CTC), la cual se emplea únicamente como un valor orientativo o de referencia, En este caso, no se toman en cuenta los tiempos de inactividad mientras la máquina realiza la tarea asignada, asumiendo que la máquina opera al 100%. En cambio, se utiliza la capacidad efectiva de campo (CEC) para los cálculos de la maquinaria, la cual sí considera los tiempos muertos causados por paradas por diversas razones (Vuelta en cabecera de chacra, descansos fortuitos, etc.).

Para determinar la CEC se considerarán las siguientes fórmulas:

$$CTC = \frac{V * A}{10}$$

$$CEC = \frac{V * A * Ec}{10}$$

CTC = capacidad teórica de trabajo o de campo, en ha/hr

CEC = capacidad efectiva de trabajo o de campo, en ha/hr

V = velocidad de avance de la máquina, en km/hr

A = ancho efectivo de trabajo de la máquina, en m

Ec = Eficiencia de campo

La determinación de la capacidad de trabajo o capacidad horaria se da en máquinas que trabajan en superficies en este caso los arados.

- **Tiempo operativo.** Se calculó el tiempo expresado por unidad de horas por hectárea en ambos casos

$$T_o = \frac{1}{CTC}$$

- **Tiempo efectivo.** Es la inversa de la capacidad efectiva de campo, también aplicable para ambos casos.

$$T_e = \frac{1}{CEC}$$

CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Características físicas del suelo en el campo experimental

De acuerdo con los informes analizados sobre las propiedades físicas del suelo antes de realizar la prueba de labranza, la tabla 3.1 presenta las principales características físicas y químicas del suelo recolectado en el predio “San Rafael”.

Tabla 3. 1. Características físicas y químicas de muestra de suelo del predio “San Rafael”.

Propiedades físicas	Unidad	Valor	Método	Interpretación según análisis de caracterización.
pH		8.01	Potenciómetro	Moderadamente alcalino
M.O	(%)	0.99	Walkley Black	Bajo
N-Total	(%)	0.05	Kjeldahl	Bajo
P-Disp.	(ppm)	2.4	BrayKurtz	Bajo
K-Disp	(ppm)	83.0	Turbidimetría	Bajo
Arena	(%)	39.6	Hidrómetro	
Limo	(%)	20.7	Hidrómetro	
Arcilla	(%)	39.6	Hidrómetro	
Clase textual			Franco arcilloso	

Fuente: Análisis de caracterización – Laboratorio de suelos y análisis foliar - UNSCH

Corbella (2023), indica que, Las características físicas del suelo desempeñan un papel fundamental en la definición de su función dentro de un ecosistema y su gestión eficaz. En la agricultura, estas propiedades afectan procesos importantes como el desarrollo vegetal, así como el flujo de agua, nutrientes y contaminantes dentro y a través de la superficie del suelo. El conocimiento de estas propiedades es de gran utilidad para comprender el comportamiento del suelo por sí mismo y entender otras propiedades relacionadas que se estudiarán en capítulos siguientes. Este tipo de suelo presenta una mezcla equilibrada de partículas finas y gruesas, lo que refleja una armonía en sus características físicas. Sin embargo, es importante aclarar que un suelo compuesto por

partes iguales de arena, limo y arcilla (33 % cada uno) se clasifica como franco arcilloso en lugar de franco, ya que la presencia de arcilla influye significativamente en el comportamiento y las características del suelo.

De modo que conforme a la cantidad de arcilla, limo y arena obtenida en el presente análisis el suelo es de clase textural franco arenoso y por poco contenido de materia orgánica se considera como un suelo mineral; del mismo modo la cantidad de nitrógeno y fósforo total es muy bajo, pero la cantidad contenida de potasio podría considerarse como medio. Los suelos con textura franco arenosa se clasifican como de textura media y destacan por su buena capacidad de retención de agua, facilitando al mismo tiempo su disponibilidad para las plantas. Al combinar componentes arcillosos y arenosos, estos suelos presentan una fertilidad intermedia, así como un riesgo moderado de erosión y una capacidad media para la mineralización de la materia orgánica y por lo tanto es un suelo muy importante para los cultivos anuales por la facilidad en el laboreo (Jaramillo, 2002). Corbella (2023) Precisa que las propiedades físicas de los suelos agrícolas son los responsables el papel que desempeña el suelo en un ecosistema y como debe ser su manejo y conservación como un recurso renovable. En la agricultura sustentable las propiedades físicas del suelo determinan el proceso de crecimiento de los cultivos, el movimiento del agua en el suelo, crecimiento y desarrollo radicular de las plantas y absorción de elementos nutrientes entre otros.

Ambos autores coinciden en que el estudio de las propiedades físicas del suelo es de mucha importancia para entender su importancia en el proceso de la producción agrícola no solamente para una mayor rentabilidad del cultivo, sino también para que el recurso suelo sea sostenible en el tiempo.

3.1.1. Textura de suelos

Según a la cantidad de arcilla, limo y arena obtenida en el análisis físico de suelo, es de clase textural franco arcilloso y por su bajo contenido de materia orgánica se considera como un suelo mineral; del mismo modo el contenido de nitrógeno y fósforo total es muy bajo, pero el contenido potasio podría considerarse como medio. Los suelos de textura franco arcillosa son suelos de textura media que tienen una buena capacidad de retención de agua por el alto contenido de arcilla, pero también la disponibilidad de agua para la planta es con mucha facilidad. Por abarcar un suelo arcilloso y arenoso, tiene una fertilidad media, una capacidad media de erosión y una capacidad de mineralización de la materia orgánica media y por lo tanto es un suelo muy importante para los cultivos anuales por la facilidad en el laboreo (Jaramillo, 2002).

Tabla 3. 2. Interpretación agrológica de la textura del suelo.

Fracción de suelo	Propiedades	Significación Agrológica
Grava	Nula plasticidad y cohesión. Incapacidad de retención de agua. Disminuye el volumen efectivo del suelo.	Interferencias en la operación de cultivo Interferencias en la germinación Menos de 20% en suelos de texturas finas favorece el régimen térmico e hídrico Más de 20% en suelos de texturas finas disminuye el espacio poroso En superficie de suelos de texturas finas disminuye la evaporación y favorece la infiltración Reducen la capacidad nutritiva del suelo En suelos de texturas medias y gruesas reducen la capacidad de retención de agua y el volumen efectivo del suelo
Arena	Débil a nula plasticidad y cohesión. Poco cambio de volumen. Muy débil a débil capacidad de retención de agua. Débil a nula actividad fisico-química. Aireación excesiva.	Desfavorables Excesiva capacidad de aire y reducida capacidad de retención de agua Escasa actividad fisico-química Fácilmente arrastrable por el agua o el viento, con desarraigo de plantas o efecto abrasivo sobre las mismas Cuando están secos tienen mucha fluctuación térmica Proliferación de ciertas plagas y enfermedades. Favorables Permiten profundos sistemas radiculares Fáciles de trabajar (livianos) Rápida infiltración de agua Lenta evaporación Desfavorables Baja estabilidad estructural Suelos con tendencia al "planchado"
Limo	Intermedias entre arena y arcilla	Favorables Si están constituidos por minerales alterables, poseen buena reserva de nutrientes. Buena retención de agua útil.
Arcilla	Elevada plasticidad, cohesión y adhesión. Elevada retención de agua. Grandes cambios de volumen. Elevada superficie específica (interna y externa).	Desfavorables Excesiva capacidad de agua y escasa de aire (según relación con el clima). Muy plásticos y adhesivos en húmedo y duros y compactos en seco. Difíciles de trabajar (pesados). Sistemas radiculares reducidos, son desfavorables para cultivos de raíz o tallos subterráneos. Agrietamientos que pueden llegar a descalzar las plantas. No aptos para fundaciones. Drenaje pobre. Favorables Alta capacidad de intercambio iónico. Mejor provistos de nitrógeno. Buena estabilidad estructural.
Franco	Equilibradas entre arena, limo y arcilla.	Las propiedades desfavorables de las arenas y arcillas se encuentran atenuadas

Como una interpretación final en el suelo estudiado en el “Predio San Rafael” se concluye que el suelo tiene una proporción de arena, limo y arcilla casi proporcional (tercio de cada uno) por lo tanto es considerado franco arcilloso y no franco, debido a la dominancia de la fracción arcilla sobre las otras partículas del suelo.

3.1.2. Estructura del suelo.

La estructura del suelo se refiere a cómo se organizan y agrupan las partículas de arena, limo y arcilla. Cuando estas partículas individuales se combinan, forman unidades más grandes, los mismos que determinan el esponjamiento y la buena aireación del suelo; los suelos de la parcela experimental de San Rafael por su regular contenido de materia orgánica tienen una buena estructura que facilitará la labor de labranza de suelos debido a su fácil esponjamiento.

3.2. Equipos de labranzas de suelos.

En la investigación se utilizaron dos tipos de equipos una tradicional que fue el arado de palo y una de tecnología moderna consistente en una motocultivadora DUCATI, modelo 13000 con un arado surcador.

3.2.1. Descripción del Arado de palo tradicional

El arado de palo es un implemento agrícola para la labranza de suelos, utilizado en terrenos de pendiente moderada y es de peso liviano y fácil de transportarlo y sólo presentan una punta o reja de acero, todo el arado, excepto la reja, está fabricado en madera, incluido el yugo. Este tipo de arado fue traído al país por los colonizadores españoles en los primeros años de la conquista, junto con los animales de tiro. El arado de palo, como herramienta impulsada por tracción animal para la labranza del suelo, sigue utilizándose en diversas regiones de la Sierra, manteniendo su diseño original hasta hoy. Su uso se ha adaptado a una gran variedad de tareas, tales como:

- Labranza de suelos
- Surcado antes de la siembra
- Apertura de canales de riego en las parcelas
- Tapado de semilla
- Cosecha de tubérculos andinos

Figura 3. 1. Arado de palo.



Partes del arado de palo:

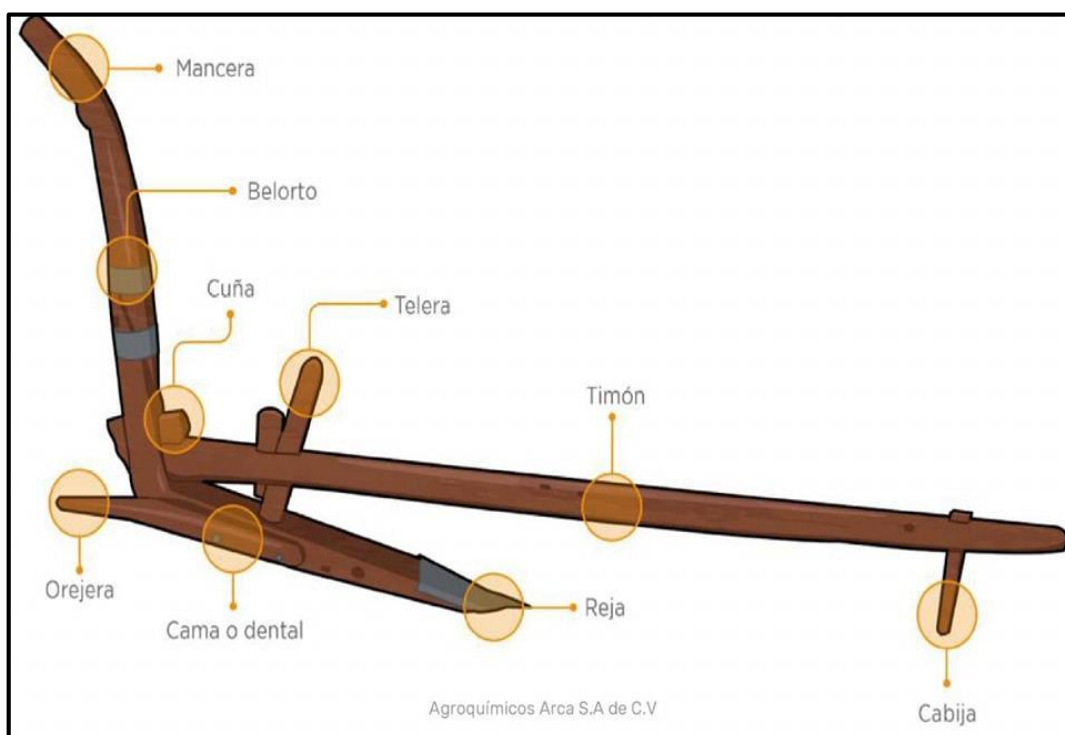
- a) **Timón.-** Este componente es una pieza cilíndrica de madera, que suele medir entre 3 y 4 metros de largo y entre 10 y 12 centímetros de diámetro. Suele estar hecha de un tipo de madera ligero pero resistente. El extremo delantero está conectado a una horquilla de yugo mediante un pasador de madera que atraviesa el timón, lo que permite que la fuerza de tracción se transmita del yugo al implemento. El extremo trasero del timón está fijado al bastidor o base que sujeta la reja.

- b) **Cama.-** Es la base del arado en lo que están anclados o asegurados el timón, sirve como apoyo del trabajo y a su vez el encargado de aperturar el surco durante el trabajo del arado.

- c) **Mancera.-** Es el elemento que hace las veces de manubrio o agarradera y se encuentra ubicada en la parte posterior de la cama con el cual forman una sola pieza, es con esta parte con el que el operador conduce y realiza el laboreo del suelo

- d) **Reja.-** Es la componente clave del arado de palo, encargada de cortar la capa de suelo en su base sin voltearla. Está hecha a partir de restos de una hoja de muelle de suspensión de un vehículo, y es ancha y recta (5 cm) en su parte posterior, donde se sujeta a la cama del arado mediante flejes o correas de cuero, aguda por la parte anterior el cual está orientado hacia abajo, formando un ángulo que constituye la succión vertical, que sirve para mantener uniforme la profundidad de trabajo.
- e) **Telera y cuña.-** La telera es una pieza de madera que facilita la transmisión de fuerza desde el timón hasta el arado, y la cuña tiene función de asegurar la profundidad requerido mediante la presión que ejerce a la telera que se encuentre atravesando el timón y se incrusta por un extremo en la cama. Algunas veces la telera de madera es remplazada por un perno que atraviesa a la cama y al timón.
- f) **Clavija.-** Es pasador de madera que atraviesa transversalmente al timón y sirve para atar el timón con el yugo del arado y de este modo tener una unión flexible entre el arado de palo y el yugo.
- g) **Clavijero.-** Es un orificio en el timón del arado por donde atraviesa la clavija.

Figura 3. 2. Partes del arado de palo.



Fuente: Agroquímicos Arca S.A

- h) **Yugo.-** El yugo es un componente esencial para realizar cualquier trabajo con el arado de palo, ya que sin él no se podrían utilizar los bueyes como fuerza motriz. Está hecho de una sola pieza de madera que ha sido cuidadosamente tallada para ajustarse tanto a la cabeza como al cuello del buey. En su construcción, es fundamental tener en cuenta el tipo de animales que se van a utilizar, ya que la conformación del cuello varía entre bueyes, lo que implica diferencias en las secciones de ajuste. Las dimensiones varían de acuerdo a la edad y talla de los animales y a la raza. Una yunta de buey pequeño necesita un yugo de menor sección que el que necesito uno de talla alta; para tal fin se tienen longitudes de 1.35 a 1.50 m. de largo. Para ajustar el yugo a los cuernos del buey, se utilizan correas de cuero de 0.03 m de ancho por 5.00 m de largo, fabricadas en una sola pieza, conocidas como "coyuntos". También se puede emplear un lazo de 10 m de largo para unir ambos bueyes. Sin embargo, se recomienda el uso de las correas, ya que son más fáciles de ajustar, mantener y reemplazar.

Figura 3. 3. Yugo



3.2.2. Descripción de la Motocultivadora DUCATI DTL 13000

La motocultivadora Ducati de 13 HP de potencia y cuyo modelo es DTL13000, es una máquina de arranque manual y parada automática, con un potente motor de 389 cc, gran capacidad de trabajo gracias a su tanque de combustible de 6,5L, es un equipo muy versátil capaz de responder a todas las situaciones de trabajo en la agricultura, multifuncional y de gran poder. Esta robusta máquina está diseñada para terrenos planos debido a su peso. La potencia de su motor permite conectar una variedad de accesorios a la toma de fuerza, como cosechadoras, segadoras, arados rotativos y remolques, entre otros implementos. Es adecuada para realizar trabajos agrícolas de dificultad media a alta, y es adaptable a todo tipo de terrenos; de modo que la motocultivadora en estudio es un mini tractor agrícola de un solo eje que dispone de arado surcador, arado de disco, arado de vertedera o arado rotativo para la labor de labranza primaria.

Figura 3. 4. Motocultivadora DUCATI DTL13000 de 13 HP de potencia.



Fuente: Manual de operaciones DUCATI

Especificaciones técnicas de la motocultivadora DUCATI DTL 13000

La motocultivadora en análisis es un tractor agrícola de dos ruedas que cuenta con un arado surcador y un arado rotativo para llevar a cabo la labranza primaria. Las especificaciones técnicas proporcionadas por los fabricantes son las siguientes

Tabla 3. 3. Especificaciones técnicas de la motocultivadora DUCATI DTL 13000.

Motor		
●	Potencia	: 13Hp
●	Motor	: 4T- OHV
●	Cilindraje	: 389cc
●	Tipo de combustible	: Gasolina
●	Tipo de arranque	: Retráctil manual
●	Capacidad de combustible	: 5 Litros
●	Tipo de aceite	: 20w50
●	Capacidad de aceite	: 1.5 Litros
●	Filtro de aire	: Baño de aceite
●	Carburador	: Grifo de purga manual
●	Consumo combustible	:
Transmisión		
●	Transmisión	: Cadenas en baño de aceite
●	Caja de cambios	: Directa por engranajes
●	Velocidades	: 4 adelante + 2 marcha atrás
●	Embrague	: Multidisco de fricción
●	Tipo de aceite	: Grado 90
●	Capacidad de aceite	: 1Litros
General		
●	Dimensiones	: 135 x 180 x105cm
●	Manubrio	: Ajustable en altura y lateral.
●	Arranque	: Manual
●	Rueda de Soporte	: 02 neumáticos 400 x 8 incluidas.
●	Depósito de Gasolina	: 6 Litros.
●	Peso	: 135Kg

Fuente: Manual de operaciones DUCATI

Se revisan algunas de las características técnicas más destacadas implementadas en los equipos del laboratorio de Maquinaria Agrícola y Mecánica General, cuyas mediciones pueden compararse con las especificaciones técnicas indicadas por el fabricante en su catálogo. Se ha verificado que los resultados se ajustan a lo estipulado en dichas especificaciones. Utilizando el equipo disponible, se realizaron las pruebas de evaluación técnica correspondientes, las cuales están relacionadas con las siguientes.

3.3. Evaluación cualitativa de las tecnologías de labranza utilizados:

Tanto el arado de palo como el arado surcador tienen mucha similitud en la forma de laboreo; tiene sus dispositivos para roturar el suelo (reja) y otro dispositivo para abrir el surco y voltear parcialmente el suelo (La cama en el arado de palo y las vertederas en el arado surcador); si es que se compara con el arado cincel la diferencia sería en que los arados cinceles solamente rompen la capa arable del suelo pero no tienen sus dispositivos para el volteo por lo tanto no pueden enterrar los rastrojos de la superficie del suelo. Los arados cinceles y subsoladores son implementos para la labranza de

conservación, constituyen otra alternativa para mejorar la infiltración de agua en la capa arable y no arable del suelo donde producen grietas en el suelo, dejando la cubierta vegetal en la superficie, se diferencian en que el arado cincel trabaja a menor profundidad y el arado subsolador a mayores profundidades de hasta un metro. Esta clase de labor necesita terrenos bastante secos para generar grietas y un efecto "resquebrajador" deseado, no se han empleado en este estudio de investigación.

Tabla 3. 4. Resumen de las características técnicas evaluadas del arado de palo con la motocultivadora DUCATI DTL de 13 HP de potencial

TIPO DE ARADO	FORMA DE LABOREO	ÓRGANOS OPERATIVOS	REGULACIÓN DE ANCHO Y PROFUNDIDAD	PESO
Arado de palo	Realiza la labor de corte y volteado parcial de suelos a ambos lados con tracción animal	Reja para el corte y cama para abrir el surco y el volteo a ambos lados del surco	Profundidad: mediante la variación del ángulo vertical entre el timón y la cama, a través de la telera Ancho: Depende del grosor de la cama a mayor grosor mayor ancho de trabajo	18 kg
Arados surcadores	Realiza la labor de corte y volteado parcial del prisma de suelo con tracción mecánica.	Un puntal, dos rejas para el corte y dos vertederas para el volteo del prisma de suelo.	Profundidad: mediante el brazo vertical del brazo portaherramientas Ancho: Abriendo o estrechando las dos vertederas del arado	21 kg.

Los arados empleados en este estudio, según su diseño, roturan el suelo de diversas maneras y posteriormente efectúan el volteado para enterrar los rastrojos. Sin embargo, el arado rotativo que tritura y combina el suelo labrado superficialmente sin modificar el perfil del suelo a mayor profundidad, lo que permite diferenciar dos formas de agricultura:

- a) Labranza de inversión. Son las que permiten cortar e invertir el perfil del terreno en forma de prismas o glebas, siendo los arados de disco y vertedera los equipos de agricultura más empleados. Los dos equipos se distinguen en su diseño, por lo que, a pesar de cumplir con lo mencionado anteriormente, la calidad del trabajo

varía principalmente en términos de inversión, mullimiento y nivelación posterior del terreno.

- b) Labranzas que cortan y mezclan el perfil del suelo. Las herramientas de arado rotativo son aquellas que cortan y combinan el perfil del terreno. Están formados por un rotor equipado con cuchillas, impulsado por la fuerza del tractor, de tal forma que en una única travesía por un terreno, rompe y combina el suelo, dejándolo en condiciones óptimas para la plantación.

Tabla 3. 5. Resumen de las características operativas evaluadas del arado de palo con la motocultivadora DUCATI DTL 13000 13 HP de potencia

NOMBRE	Incorporación de residuos vegetales y fertilizantes	Eliminación de reproducción en malezas, plagas y enfermedades	Rompe la compactación de la capa arable del suelo	infiltración del agua en el perfil del suelo	Laboreo en suelos irregulares y pedregosos
Arado de palo	La incorporación de rastrojo es parcial al voltear parcialmente la prisma de suelo	Debido al volteo parcial no destruye mecánicamente la totalidad de fuentes de propagación	A menor o mayor profundidad laboreada	Facilita la infiltración a media profundidad.	Trabaja bien sin ninguna limitación, incluso en terrenos pedregosos
Arado surcador	La incorporación de rastrojo es parcial, una parte queda en la superficie de la capa arable	Debido a la mayor remoción de la prisma de suelo destruye más las fuentes de propagación	A menor o mayor profundidad laboreada	Facilita la infiltración a media profundidad	No puede trabajar, se rompen las rejas

Las alternativas a los arados de vertedera y disco son los arados cinceles y subsoladores. En contraposición a estos, generan fisuras en el terreno, dejando la capa vegetal en la superficie. Los dos equipos se distinguen, tanto en la intensidad de trabajo como en la cantidad de unidades de deslizamiento. Este tipo de labor necesita terrenos

bastante secos, para evitar la aparición de fisuras y un efecto "resquebrajador" deseado, no se han empleado en este trabajo.

Según Laguna-Blanca (2012); Si bien tanto los arados de disco como los de vertedera se utilizan comúnmente para la labranza primaria, sus mecanismos de funcionamiento difieren, y cada uno ofrece ventajas e inconvenientes específicos según el tipo de suelo y las condiciones del campo. El arado de vertedera crea un surco uniforme y consistente a una profundidad uniforme. En cambio, el arado de disco tiende a dejar un surco ondulado con pequeños surcos de tierra sin labrar. Estos surcos se vuelven menos pronunciados al aumentar el ángulo de la cuchilla y al acercar los discos. Por otro lado, un ángulo de corte menor y una mayor separación entre los discos resultan en surcos más prominentes. En consecuencia, a la misma profundidad de labranza, el arado de disco generalmente deja más tierra sin labrar que el arado de vertedera. Otra diferencia clave radica en cómo cada herramienta se adapta al terreno rocoso. Los arados de vertedera suelen presentar problemas en estas condiciones, ya que la punta de la reja o el cincel puede engancharse en piedras grandes, lo que aumenta el riesgo de daños en los componentes. Para solucionar esto, los fabricantes han mejorado constantemente las características de seguridad del arado, desarrollando soluciones más fiables y fáciles de usar para reducir el riesgo de rotura. Sin embargo, los arados de disco suelen rendir mejor en terrenos pedregosos, ya que sus cuchillas curvas pueden sortear obstáculos con mayor facilidad. Una vez pasada la piedra, el disco suele recuperar su profundidad de trabajo sin mayores interrupciones.

No obstante, aclaremos que, a pesar de que el arado de discos soporta con mayor eficacia las piedras que el de vertedera, estas siempre representan un obstáculo para él, al igual que cualquier otra máquina. El tercer punto que podemos tomar en cuenta es la elevación de terrenos montañosos que se han talado, donde aún existen raíces y tocones. La vertedera experimentará numerosos encajes con las raíces, mientras que el disco, debido a su borde de corte, seccionará numerosas de ellas y rodará sobre las de mayor tamaño sin mayor dificultad.

3.4. Evaluación técnica de los implementos y/o equipos utilizados:

La prueba de campo con el arado de palo y la motocultivadora se realiza en una parcela demostrativa de la comunidad de San Rafael con el objetivo de determinar la capacidad de trabajo y potencia desarrollada en campo para luego evaluar comparativamente con la tracción mecánica. Tras la comprobación de los rasgos técnicos más relevantes que

se han instrumentado con los equipos del laboratorio de Maquinaria agrícola y mecánica general, se han llevado a cabo las pruebas de campo de acuerdo a la secuencia siguiente.

a. Determinación de velocidades en la labranza de suelos

Las velocidades medias de cultivo en tres pasos indican que el arado surcador alcanza una velocidad promedio de 2.76 Km/h. (Tabla 3.6).

Tabla 3. 6. Resultados de velocidades de labranza de suelos en el arado de palo

LABRANZA CON EL ARADO DE PALO	D (m.)	Tr (seg.)	V (m/seg.)	V (km/hr.)
Primera pasada	20	23.52	0.85	3.06
Segunda pasada	20	26.66	0.75	2.7
Tercera pasada	20	28.57	0.7	2.52
PROMEDIO	20	26.25	0.77	2.76

El promedio de las velocidades de labranza de suelos, basado en tres pasadas, muestra que el arado surcador presenta la mayor velocidad de trabajo, mientras que el arado palo tiene la velocidad de trabajo más baja; esto estaría fundamentado por la mayor fuerza de tiro aplicado al implemento en el caso de la motocultivadora por la alta potencia del mismo que llega a 3.85 km/hr (Tabla 3.7).

Tabla 3. 7. Resultados de velocidades de labranza de suelos en la motocultivadora

LABRANZA CON EL ARADO SURCADOR	D (m.)	Tr (seg.)	V (m/seg.)	V (km/hr.)
Primera pasada	20	19	1.05	3.78
Segunda pasada	20	16.6	1.2	4.32
Tercera pasada	20	21.1	0.95	3.42
PROMEDIO	20	18.9	1.07	3.84

Figura 3. 5. Comparación de la velocidad de trabajo.



b. Fuerza de tiro, Potencia y torque

Las mediciones de la fuerza de tracción con el dinamómetro, permite realizar los cálculos de potencia utilizada o requerida tanto en la tracción animal como en la motorizada a barra de tiro más la potencia al eje toma de fuerza en el caso de la motocultivadora DUCATI; los resultados de la fuerza de tiro obtenida en el arado de palo como promedio fue de 132.9 kg. Y con la velocidad promedio calculada de 2.77 km/hr, la potencia desarrolla por la yunta de buey es de 1.44 HP; cuyos valores son muy cercanos a los obtenidos por Galindez (1981) en las pruebas de campo realizadas en el Valle del Mantaro, Junín. (Tabla 3.8).

Tabla 3. 8. Resultados de potencia con la tracción de la yunta de buey

LABRANZA CON EL ARADO DE PALO	FUERZA DE TIRO (Kg)	Vel. (Km/hr.)	Potenci a bruta (HP.)	Eficiencia transmisión (%)	Potenci a utilizada (HP)
Primera pasada	132.8	3.06			1.51
Segunda pasada	128.2	2.7			1.28
Tercera pasada	137.7	2.52			1.29
PROMEDIO	132.9	2.76			1.36

Figura 3. 6. Medición de la fuerza de tiro en el arado de palo y surcador en la motocultivadora



En cuanto a la tracción de la barra de tiro, Mayans-Céspedes (2010) señala que, a medida que aumenta la carga —lo cual se refleja en una mayor velocidad de rotación del cigüeñal—, se produce un aumento correspondiente en la potencia de tracción de la barra de tiro, el consumo de combustible por hora y el deslizamiento de las ruedas. Al mismo tiempo, disminuyen la velocidad de trabajo y el consumo específico de combustible. Estas variaciones se producen en el motocultor en cada marcha del sistema de transmisión.

Tabla 3. 9. Resultados de potencia en la barra de tiro y potencia al motor

LABRANZA CON EL ARADO SURCADOR	FUERZA DE TIRO (Kg)	Vel. (Km/hr.)	Potencia A barra de tiro (HP.)	Eficiencia transmisión (%)	Potencia utilizada (HP)
Primera pasada	466.3	3.78	6.53	0.95	6.87
Segunda pasada	461.0	4.32	7.38	0.95	7.77
Tercera pasada	451.2	3.42	5.72	0.95	6.02
PROMEDIO	459.5	3.84	6.54	0.95	6.89

En el gráfico 3.6 se puede observar que la fuerza de tiro medida con el dinamómetro es de 459.5 kg y para la velocidad promedio de trabajo calculada de 3,85 km/hr la potencia a la barra de tiro es de 6.89 HP y con una eficiencia de transmisión de 95% la potencia desarrollada por el motor es de 6.55 HP., defiere con lo determinado por Rivera, (2021) que con una motocultivadora AMET de procedencia china determinó 15.5 HP de potencia para el caso de arado de vertedera y bajo las condiciones de Pampa del Arco; que también estaría fundamentado por el mayor ancho y profundidad de trabajo a diferencia del arado surcador.

c. Consumo de combustible en la motocultivadora

Teniendo en consideración que un galón de combustible equivale 3.785 litros el resumen de consumo de combustible se muestra en la tabla 3.10.

El gasto de combustible por el motocultor Ducati 13000 por hora de tiempo de explotación, fue de 0,43 L/h, lo que viene a ser 0.113 Gal/h.

Tabla 3. 10. Consumo de combustible en el motocultor Ducati 13000.

ARADO SURCADOR	Litros/hr	gal/hr	P	Gal/hr/HP
Primera prueba	0.39	0.103	6.55	0.016
Segunda prueba	0.42	0.111	6.55	0.017
Tercera prueba	0.47	0.124	6.55	0.019
PROMEDIO	0.43	0.113	6.55	0.017

3.5. Factores operativos de la motocultivadora en la labranza de suelos

La labranza de suelos con la motocultivadora y el arado surcador tiene como finalidad principal reducir los tiempos en la labor de labranza y también reducir los costos del laboreo y a su vez contribuir en la obtención de una mayor productividad del cultivo; realizar la preparación de suelos con la tecnología adecuada, reduciendo y ahorrando la fuerza física del campesino de modo que la actividad sea más productiva y no genere cansancio y aburrimiento durante el trabajo de campo; sin embargo; las motocultivadoras y sus respectivos aperos constituyen una tecnología innovadora aplicable en términos económicos debido a los bajos costos en el mercado de maquinaria agrícola; pero que para lograr el máximo provecho de estas maquinarias es

importante la capacitación en el uso correcto de estos equipos agrícola y es necesario asegurar la correcta operación y mantenimiento que permitan su uso eficiente y rentable durante mucho tiempo y que las máquinas funcionen cumpliendo su trabajo con alto rendimiento, eficiencia mecánica y productividad, para ello es necesario el estudio detallado de las características físicas del suelo, el tipo de cultivo a instalar y conocer el gama de implementos para las labores agrícolas que deberán realizarse. (Alva et.al. 2015)

MAAMA (2022); Afirma que los cultivadores están equipados con motores monocilíndricos refrigerados por aire, típicamente motores diésel de cuatro tiempos que van de 10 a 20 hp, con una cilindrada de entre 250 y un poco más de 500 cm³. Estos motores funcionan a velocidades de entre 3000 y 3800 rpm. También se utilizan motores de gasolina de menos de 10 hp. El motor, ubicado con un cilindro vertical sobre el eje de la rueda, asegura que el cultivador mantenga el equilibrio cuando el implemento (generalmente el cultivador rotativo) está montado en la parte trasera. La transmisión, vinculada a la dirección del vehículo, consta de una caja de cambios con tres a cinco marchas hacia adelante y una a tres marchas hacia atrás. El conjunto principal incluye la caja de cambios, el soporte de la rueda (a menudo con un diferencial y un mecanismo de bloqueo) y los frenos del semieje. Además, incluye un conjunto de engranajes para la toma de fuerza, que se ajusta según la velocidad del motor para generar par (con una o dos relaciones entre 500 y 1300 rpm para la velocidad nominal del motor) o se sincroniza con la velocidad de avance para todas las relaciones de transmisión. Las motoazadas se utilizan principalmente para la labranza del suelo con rotor y azadas (rotocultivador). Si bien este método es común, algunos fabricantes ofrecen tractores y máquinas que pueden convertirse en unidades motrices para equipos que requieren menos potencia, como los tractores. Al utilizar una motoazada, esta puede labrar el suelo hasta 15 cm de profundidad, con anchos de trabajo que van desde 0,5 m hasta más de 1,0 m. El rotocultor conserva la velocidad de giro entre 200 y 300 revoluciones por minuto. Para las motocicletas con motor, la profundidad de trabajo es inferior y el rotor opera en un régimen de 60 a 120 revoluciones por minuto. Algunos productores de arados proporcionan arados surcadores, a pesar de ser una alternativa novedosa. Dado que la capacidad de tracción del motocultor es limitada y depende de su peso, se requiere añadir peso para disminuir el desplazamiento y la pérdida de potencia. Otras opciones disponibles para la labor del suelo incluyen los surcadores y acaballonadores, los cultivadores de brazos, entre otros.

En la región de Ayacucho se tienen los campos agrícolas parcelados en pequeñas propiedades menores a una hectárea de superficie y ubicados con mucha pendiente en la mayoría de los casos; siendo este la razón por el que se utilizaba la tracción animal en la mayoría de las comunidades, pero con el debido estudio se puede adaptar el uso de las motocultivadoras en reemplazo de la tracción animal que en estos tiempos también es cada vez muy escaso y caro. La mayoría de los terrenos agrícolas en las comunidades de la región Ayacucho está localizados en terrenos inclinados o laderas, de modo que el uso de las motocultivadoras y sus aperos también tendrán limitaciones en algunos casos, puesto que para terrenos en pendiente mayores a 15° los rendimientos de la máquina van disminuyendo por la pérdida de su estabilidad en su recorrido y además la mayoría de los terrenos son compactos, rocosos y de escasa profundidad; lo más apropiado y óptimo para la utilización de estas máquinas es para terrenos llanos con textura bastante arenosa. (Aguilar; 2022).

3.6. Usos del motocultor y arado surcador

El motocultor puede ser visto como un tractor de un solo eje, que se maneja a pie a través de unos brazos conocidos como manceras, a los que se pueden añadir distintas herramientas agrícolas, tal como sucede en los tractores; en el presente trabajo de investigación se utilizó un arado surcador. Pla & Quiroz (2020); precisan que la labranza de suelos en la agricultura campesina de la región generalmente es tradicional, con mayor o menor grado de mecanización. En las comunidades, la mano de obra suele ser familiar y en algunos casos contratados. Hoy en día es escasa, ya sea porque los hijos han migrado o se dedican a otras actividades no agrícolas, hace que el costo de oportunidad de la mano de obra sea muy elevado. Por otro lado, la tracción animal ya casi ha desaparecido y la contratación de tractores implica un alto costo económico y los pocos tractores que existen no suelen alcanzar a hacer las labores a tiempo en todas las parcelas. Actualmente en las comunidades existen muchos productores que buscan aspirar a otro mercado, realizando una producción más alternativa (orgánica u agroecológica), hace que el empleo de la maquinaria sea aún mayor ya que el deshierbe pasa a ser una actividad manual o pasa a ser controlada con el uso de labranzas con motocultivadora. De esta manera con el uso del motocultor se aspira a:

- Reducir el costo de inversión (a mediano y largo plazo)
- Reducir el tiempo de trabajo
- Reducir el esfuerzo de las actividades.

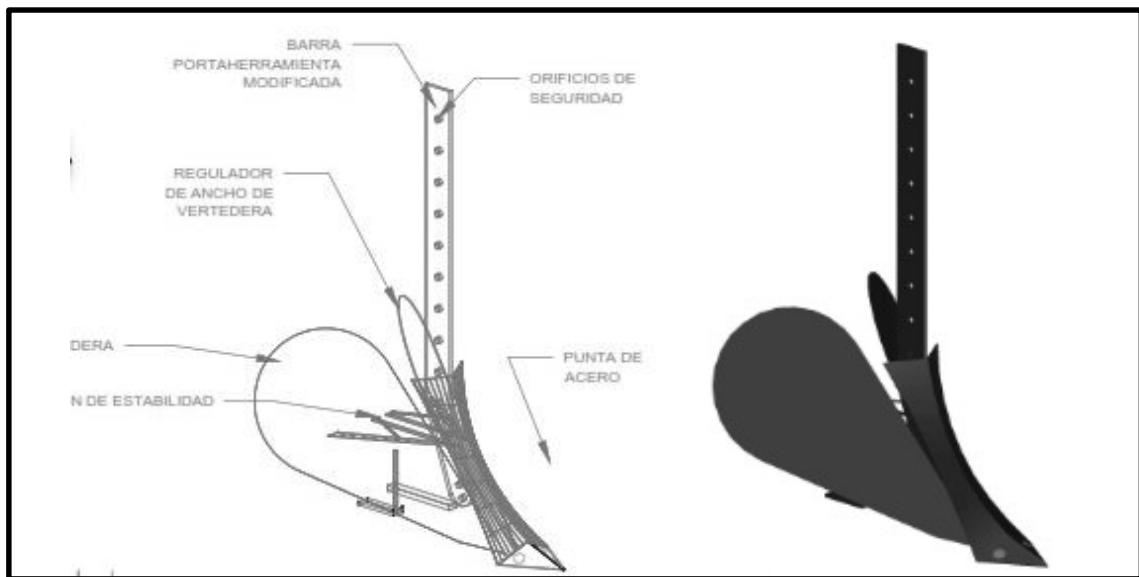
Esto permitirá el aumento de la rentabilidad de la agricultura familiar, hará que el productor pueda acceder a mercados con mejores precios de venta a la vez de ser responsable con el medio ambiente y la sustentabilidad. Por último, hará esta actividad un poco más atractiva a los jóvenes y mujeres, (Pla & Quiroz, 2020).

Figura 3. 7. Labranza de suelos con surcador



Los arados están diseñados para cortar y voltear el prisma de suelo bajo el sistema de siembra en surcos. La mayoría de las marcas de motocultivadoras ofrecen el modelo monosurco o giratorio y reversible de 180° el cual permite el giro de la tierra a derecha o a izquierda respecto a la dirección de avance. La profundidad del surco que puede variar según el modelo. El arado surcador con vertederas regulables es un implemento específico para realizar surcos de siembra o de riego. Se aplica como los arados, la brida de empalme de los equipos situada en la parte posterior de la caja de cambios, se puede regular el ancho y la profundidad del surco. Generalmente la anchura del surco va de un mínimo de 10 cm. a un máximo de 30 cm y la profundidad de 10 a 20 cm. Si las parcelas a trabajar son muy duras conviene realizar antes una operación de fresado y luego pasar recién el surcador.

Figura 3. 8. Arado surcador.



3.7. Evaluación de la capacidad de trabajo en la labranza de suelos

Para determinar la productividad o capacidad de trabajo con el arado de palo y el arado surcador, se hizo pruebas de labranza de suelos en campo con 3 repeticiones utilizando como fuente de energía la yunta de buey y una motocultivadora DUCATI de 13 HP de potencia en una parcela experimental seleccionada en la comunidad de San Rafael según los procedimientos precisados en la metodología de investigación.

A capacidad de trabajo teórica o de campo se ha determinado utilizando las variables de velocidad promedio de trabajo del arado y su ancho de trabajo para cada uno de los implementos (Tabla 3.11). Primero, se calculó el tiempo de recorrido de la motocultivadora junto con el implemento en una distancia de 20 metros, tomando en cuenta el tiempo promedio controlado durante las tres repeticiones

$$V = \frac{L}{T}$$

Dónde:

L = Longitud de recorrido (m)

T = tiempo utilizado en el recorrido (seg)

V = Velocidad de avance del arado de vertedera en km/hr.

La capacidad de trabajo teórico (CTT) se calcula multiplicando los datos de velocidad promedio de trabajo por el ancho de trabajo del arado.

$$CTT = V \times A$$

$$CTT = 3.06 \text{ km/hr} \times 0.16 \text{ m}$$

$$CTC = 0.049 \text{ Has/hr.}$$

El tiempo de operación se contrapone a la capacidad teórica de campo, lo que nos facilita expresar el rendimiento de los animales de labor en horas por cada hectárea.

$$T_o = \frac{1}{CTC} = \frac{1}{0.049 \frac{\text{Has}}{\text{Hr}}}$$

$$T_o = 20.41 \text{ hr/Ha.}$$

Tabla 3. 11. Resultados de capacidad de trabajo teórico con el arado de palo

Implemento Arado de palo	V (km/hr)	A (m.)	CTT (Ha/hr)	To (hr/ha.)
Primera prueba	3.06	0.16	0.049	20.41
Segunda prueba	2.7	0.16	0.043	23.26
Tercera prueba	2.52	0.16	0.04	25.00
PROMEDIO	2.76	0.16	0.044	22.89

Tabla 3. 12. Resultados de capacidad de trabajo teórico con el arado surcador (Motocultivadora DUCATI).

Implemento Arado surcador	V (km/hr)	A (m.)	CTT (Ha/hr)	To (hr/ha.)
Primera prueba	3.78	0.25	0.095	10.53
Segunda prueba	4.32	0.25	0.108	9.17
Tercera prueba	3.42	0.25	0.086	11.76
PROMEDIO	3.84	0.25	0.096	10.49

La limitación del arado de palo es que se tiene un solo cuerpo de arado de modo que el ancho de labor es menor comparado al arado surcador que tiene dos vertederas; todo

esto ha repercutido en que la capacidad de trabajo teórico desarrollado es menor a los valores obtenidos con el arado de palo y arado surcador. La eficiencia de campo se obtiene, teniendo en consideración que las pérdidas de tiempo por las paradas en el caso del arado de palo se considera también los descansos de la yunta de buey por 2 horas dentro de la jornada de las 8 horas de trabajo y también en el motocultivador principalmente el tiempo de demora al voltear en la cabecera de la chacra, para el caso del arado de palo se estimó en 0.64 y para la motocultivadora con el arado surcador 0.79. La capacidad de trabajo efectivo se obtiene multiplicando Eficiencia de campo por la Capacidad de trabajo teórico por la eficiencia de campo, cuyo resultado representa el rendimiento real del implemento agrícola en prueba.

$$CTE = CTT \times Ec$$

El tiempo efectivo operativo requerido para realizar la labranza de suelos es la inversa de la capacidad de trabajo efectivo y representa las horas requeridas para laborear una hectárea de terreno.

$$T_e = \frac{1}{CTE}$$

Tabla 3. 13. Resultados de capacidad de trabajo efectivo y tiempo efectivo en el arado de palo

Implemento Arado de palo	CTT (Has/hr)	Ec.	CEC (Ha/hr)	Tefe (hr/ha.)
Primera prueba	0.049	0.64	0.031	32.26
Segunda prueba	0.043	0.64	0.028	35.71
Tercera prueba	0.04	0.64	0.026	38.46
PROMEDIO	0.044	0.64	0.028	35.48

Tabla 3. 14. Resultados de capacidad de trabajo efectivo y tiempo efectivo en el arado surcador

Implemento Arado surcador	CTT (Has/hr)	Ec.	CEC (Ha/hr)	Tefe (hr/ha.)
Primera prueba	0.095	0.79	0.075	13.33
Segunda prueba	0.108	0.79	0.085	11.76
Tercera prueba	0.085	0.79	0.068	14.71
PROMEDIO	0.096	0.79	0.076	13.27

Los resultados presentados en la Tabla 3.14 están vinculados con los resultados presentados en la Tabla 3.13 para determinar la capacidad efectiva de campo y el tiempo operativo; de esta manera, se consigue un rendimiento efectivo superior con el arado surcador y un rendimiento efectivo inferior con el arado de palo. Es importante señalar que el arado de palo lleva a cabo un volteado parcial del prisma de suelo, no obstante, el arado surcador, al emplear dos cuerpos de arado, proporciona una mayor cobertura de la zona de trabajo.

El trabajo esencial en el arado de palo es la labor primaria, es decir, roturar y voltear el terreno para garantizar un adecuado mullimiento y aireación. Incluye los rastros para que se desintegren, similar al arado surcador, pero éste desmenuza mejor los terrones de tierra siempre y cuando no esté demasiado húmeda.

3.8. Determinación de los costos de la labor de labranza.

Los costos de la labranza de suelos para el arado de palo y arado surcador se ha determinado con el tiempo operativo determinado en las tablas 3.13 y 3.14. En el caso del arado de palo las 35.48 horas requerida se ha dividido entre 8 para convertirlo en jornales que es de 4,44 jornales; con estos valores de tiempo teniendo los costos de alquiler promedio en la zona se ha obtenido el costo total de laboreo por hectárea de 517.0 soles para el arado de palo y 329 soles para el arado surcador con la motocultivadora (Tabla 3.15)

Tabla 3. 15. Análisis comparativo de costos de labranza con los arados

Implemento de labranza primaria	Unidad	Tiempo x hectárea	Costo unit. (soles/hr)	Costo total (soles/ha)
Arado de palo	Jornal	4.44	120.00	532.80
Arado surcador	horas	13.27	25.00	331.75

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

- Las características físicas del campo de cultivo bajo las condiciones del campo experimental de la comunidad de San Rafael – Socos – Ayacucho fue franco arcilloso y con un contenido de materia orgánica de 0.99%; con el que se puede caracterizar como un suelo de buena textura y estructura que facilita la buena realización de las labores de preparación de suelos.
- En la evaluación técnica el arado de palo requirió una fuerza de tracción de 132.9 Kg. Para las condiciones del campo experimental de la comunidad de San Rafael, requiriendo una potencia de 1.36 HP en la yunta de buey (0.68 HP por cada buey); Las características técnicas de la motocultora DUCATI de 13 HP de potencia en la labor de labranza de suelos con un arado surcador fue de 6.89 HP de los 13 HP que la motocultivadora pudiera desarrollar y desarrolló una fuerza de tracción de 459,5 Kg, asimismo el consumo de combustible fue de 0.017 gal./HP.hr y que para una labor diaria de 8 horas equivale a un consumo de 0.9 galones/día y 1.5 gal/ha., haciendo un gasto muy económico en la labranza con el arado surcador.
- La capacidad de trabajo de efectivo fue de 0.028 ha/hr y 0.076 ha/hr para el arado de palo y la motocultivadora DUCATI 13000 respectivamente y el tiempo efectivo de 35.48 hr/ha. y 13.27 hr/ha con el que se estableció el costo de la labor de la labranza de suelos en 532.8. soles/ha para el arado de palo y 331.75 soles/ha con la motocultivadora DUCATI 13000 para las condiciones del campo experimental de la comunidad de San Rafael.

CAPÍTULO V

RECOMENDACIONES

- En base a los resultados de esta investigación, incentivar tanto a los alumnos como a los agricultores, el uso y la aplicación de las nuevas tecnologías de la mecanización agrícola.

- Ampliar los trabajos de investigación para las diferentes condiciones de suelo y con las diferentes variedades de equipos de labranza que se tiene en el mercado de maquinaria agrícola, el uso de tracción animal y motocultivadoras en la labranza de suelos para los pequeños agricultores de la región Ayacucho; para que de este modo se pueda masificar su uso a nivel de las comunidades.

- Se recomienda hacer el comparativo con otras herramientas de labranza como es el arado de discos, arado de vertedera y el arado rotativo; asimismo las respuestas que puedan tener en cada cultivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar; F** (2012) Evaluación técnica y operativa de una motocultivadora AMEC en labranza de suelos, Ayacucho – 2021 [Título profesional Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Académico de la Universidad de Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Alva; C., Baba; N. y J. Velásquez.** (2015). *Costos y rendimientos en la labranza convencional y mecanizada de la agricultura familiar en la comunidad campesina Barrio Bajo de Matucana*. Revista ECI Perú Volumen 12, número 2 Diciembre 2015. Universidad Nacional Agraria La Molina. Japan International Cooperation Agency-JICA, Apartado Postal 18-0261, Lima 18, PE. DOI: <https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2015.0021/>
- Alva, C. (2016).** *Labranza con motocultores, motoazada y labranza tradicional en terrazas en la agricultura familiar- Comunidad Campesina Barrio Bajo, Matucana - Lima*. [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2221/F07-A4-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- BARAÑAO, T.** (1982). *Maquinaria Agrícola*. Editorial. Hemisferio Sur. Buenos Aires Argentina.
- Berlijn J.** (1978) *Preparación de tierras agrícola*. Universidad Nacional Agraria “La Molina” Lima - Perú
- Daquilema, D. y Pulla, D. Luis.** *Diseño Construcción y Pruebas de implementos agrícolas de motocultor para uso en parcelas del MAGAP de la provincia de Chimborazo (tesis).(pregrado) Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de mecanica, Escuela de ingeniería mecánica, Riobamba, Ecuador. 2014,* pp58. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5927/1/65T00205.pdf>
- Galindez, A.** (1981). *Diagnósis de los implementos agrícolas tradicionales, modificaciones y nuevos diseños en el arado de palo en el valle del Mantáro* [Título profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Académico de la Universidad de Nacional Agraria La Molina. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL_33f8481dd2c29f2a27e4864516515b60/Details
- Nwakaire, J.N., et Al.** (2018). *Refurbishment and evaluation of a twowheeled tractor*. Niger. J. Technol., 37: 1168-1175. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=q-UWzvgAAAAJ&citation_for_view=q-UWzvgAAAAJ:dshw04ExmUIC
- Ortiz-Cañavate, Barreiro P., Diezma iglesias R., Garcia F., Gil J., Moya A., Ortiz C., Ruiz M., Valero M.** (2012) *Las máquinas agrícolas y su aplicación*. Universidad politécnica de Madrid, España. Ediciones Mundi prensa, España.
- Quimis-Guerrido, et Al.** (2020). *Evaluación tecnológico-explotativa del motocultor Dongfeng DF 151L en preparación de suelo para sembrar maíz*. La Técnica Revista de las Agrocencias ISSN 2477-8982. Edición especial. 47-64. [10.33936/la_tecnica.v0i24.2216](https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i24.2216).

[https://www.researchgate.net/publication/345304543_Evaluacion_tecnologico-explotativa_del_motocultor_Dongfeng_DF_151L_en_preparacion_de_suelo_pa ra_ sembrar_maiz](https://www.researchgate.net/publication/345304543_Evaluacion_tecnologico-explotativa_del_motocultor_Dongfeng_DF_151L_en_preparacion_de_suelo_para_ sembrar_maiz)

Rivera, R. (2021), *Adaptación y evaluación de una cultivadora multiuso de tracción mecánica en cultivos alimenticios, Ayacucho - 2020* [Título profesional, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Académico de la Universidad de Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
<https://repositorio.unsch.edu.pe/items/408e40ca-4caa-4303-8c57-f23588b36723>

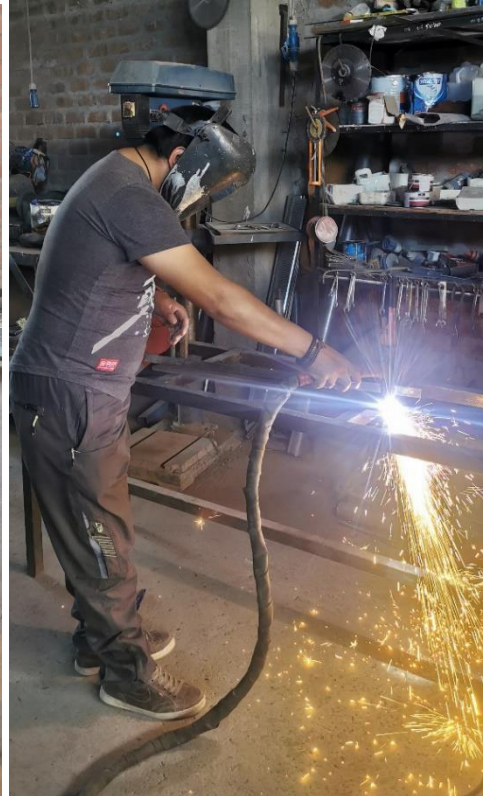
Tejada, T. (2022), Generación de un equipo de labranza para la agricultura familiar: La Cultivadora INIA. *Revista de Investigación Agropecuaria Science and Biotechnology*, Vol. 02, 17-31.
<https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/03/06/guia-especificaciones-tecnicas-y-modos-de-uso-de-maquinarias-para-labranza-de-suelos-galeria-de-imagenes/#:~:text=La%20preparaci%C3%B3n%20del%20suelo%20es,semilla%20y%20su%20desarrollo%20posterior.>

ANEXOS

Anexo A
PANEL FOTOGRÁFICO



Reconocimiento de maquina e implementos agrícolas.



Construcción de barra portaherramientas modificada.



Construcción de barra portaherramientas modificada.



Pines y grilletes de seguridad



Instalación de barra portaherramientas modificada.



Prueba de motocultor e implemento agrícola modificado



Presentación del motocultor e implemento agrícola.



Presentación del motocultor e implemento agrícola.



Charla de operación y mantenimiento del motocultor.



Toma de medidas del terreno



Cálculo de la velocidad de trabajo de yunta de buey



Cálculo de velocidad de trabajo del motocultor.



Operación y puesta de trabajo de maquinaria.



Falla y ruptura de barra de tiro por dureza del terreno.



Reparación de barra de tiro.



Instalación de dinamómetro para cálculo de potencia.



Dinamómetro, cálculo de potencia en arado de palo.



Dinamómetro, cálculo de potencia en motocultor.

Anexo B
ANÁLISIS FÍSICO DEL SUELO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 PROGRAMA DE INVESTIGACION EN PASTOS Y GANADERIA
LABORATORIO DE SUELOS Y ANALISIS FOLIAR

Jr. Abraham Valdelomar N° 249 – Telf. 315936 966942996
 Ayacucho – Perú

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

Región : Ayacucho
 Provincia : Huamanga
 Distrito : Socos
 Localidad : San Rafael
 Proyecto : TESIS:
 Solicitante : Sr. Walter Marquina Guerra

HR: 00385

ANALISIS DE CARACTERIZACION

Muestra	Análisis mecánico (%)		Clase Textural	pH (H ₂ O)	C. E. (dS/m.)	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos Disp. (ppm)					Cationes cambiables (Cmol(+)/Kg)					C. I. C. (Cmol(+)/Kg)
	Arena	Limo							P	K	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺			
01	39.6	20.7	Fr-Ar	8.01	1.02	0.0	0.99	0.05	2.4	83.0	11.8	2.46	0.43	0.62	0.0	0.0	16.0		

Ayacucho, 15 de Noviembre del 2023.

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS
 PLANTA, AGUAS Y FERTILIZANTES
 RESPONSABLE

Juan B. Giron Molina
 Juan B. Giron Molina
 C.I.P. 77120

Ao: Arenoso; AoFr: Arena franco; FrAo: Franco arenoso; Fr: Franco; FrL: Franco limoso; L: Limoso; FrArAo: Franco arcillo arenoso; FrAr: Franco arcilloso; FrArL: Franco arcillo limoso; ArAo: Arcillo arenoso; ArL: Arcillo limoso; Ar: Arcilloso

MÉTODOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS DE SUELOS

1. Textura de suelo: % de arena, limo y arcilla; método del hidrómetro.
2. Salinidad: medida de la conductividad eléctrica (CE) del extracto acuoso en la relación suelo: agua 1:1 ó en el extracto de la pasta de saturación (es).
3. pH: medida en el potenciómetro de la suspensión suelo; agua relación 1:2.5 ó en suspensión suelo: KCl IN, relación 1:2.5
4. Calcareo total (CaCO₃): método volumétrico o gaso-volumétrico utilizando un calcimetro.
5. Materia orgánica: método de Walkley y Black, oxidación del carbono orgánico con dicromato de potasio. %M.O = %C x 1.724.
6. Nitrógeno total: método del semi micro- kjeldahl.
7. Fósforo disponible: método Bray Kurtz I y método del Olsen modificado, extracción con NaHCO₃ = 0.5M, pH: 8.5
8. Potasio disponible: extracción con acetato de amonio (CH₃-COONa)N, pH 4.8
9. Capacidad de intercambio catiónico (CIC): saturación con acetato de amonio (CH₃-COONH₄)N; pH: 7. Titulación con Formaldehído.
10. Ca⁺², Mg⁺², cambiables: reemplazamiento con acetato de amonio (CH₃-COONH₄)N; pH: 7.0, cuantificación por complexometría EDTA.
11. AL⁺³ +H⁺: método de Yuan. Extracción con KCl N
12. Iones solubles:
 - a) Ca⁺², Mg⁺², K⁺, Na⁺ solubles: fotometría de llama y/o absorción atómica.
 - b) Cl⁻, CO₃⁼, HCO₃⁻, NO₃⁻ solubles: volumetría y colorimetría, SO₄⁼ turbidimetría con Cloruro de Bario.
 - c) Boro soluble: extracción con agua, cuantificación con curcumina.
 - d) Yeso soluble: solubilización con agua y precipitación con acetona.

Equivalencias:

- 1ppm = 1mg/kilogramo
 1 milimho/cm (mmho/cm) = 1 deciSemens/metro
 1 miliequivalente/ 100g = 1 cmol(+)/kg
 Sales solubles totales (TDS) en ppm ó mg/kg = 640 x CEes
 CE (1:1) mmho/cm x 2 = CE (es) mmho/cm

TABLA DE INTERPRETACIÓN

Salinidad	
Clasificación del Suelo	CE (es)
* muy ligeramente salino	< 2
* ligeramente salino	2 - 4
* moderadamente salino	4 - 8
* fuertemente salino	> 8

Reacción o pH	
Clasificación del Suelo	pH
* Fuertemente ácido	< 5.5
* Moderadamente ácido	5.6 - 6.0
* Ligeramente ácido	6.1 - 6.5
* Neutro	6.6 - 7.0
* Ligeramente alcalino	7.1 - 7.8
* Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4
* Fuertemente alcalino	> 8.4

Clasificación	Materia Orgánica %	Fósforo disponible		Potasio disponible	
		ppm P	ppm K	ppm P	ppm K
* bajo	< 2.0	< 12.0	< 100		
* medio	2 - 4	12.0 - 18.0	100 - 240		
* alto	> 4.0	> 18.0	> 240		

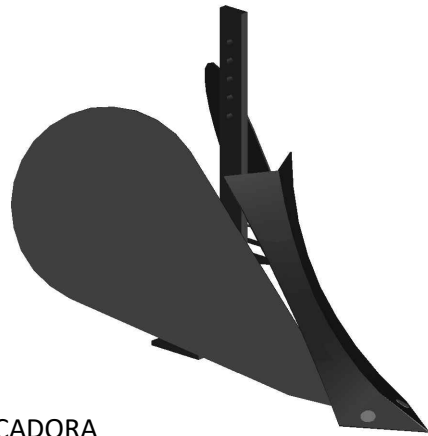
Clasificación	Relaciones Cationicas		
	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
* Normal	5 - 8	14 - 16	1.8 - 2.5
* Deficiencia Ca	< 5	< 14	
* Deficiencia K		> 16	> 2.5
* Deficiencia Mg	> 8		< 1.8

Distribución de Cationes %		% Calcareo Total (CaCO ₃)	
Ca ⁺²	60 - 75	< 1 %	Nivel bajo
Mg ⁺²	15 - 20	1 a 5 %	Nivel Medio
K ⁺	3 - 7	5 - 15 %	Nivel alto
Na ⁺	< 15	> 15 %	Nivel muy alto

Anexo C

PLANOS DE MOTOCULTIVADORA Y SURCADORA

SURCADORA 3D



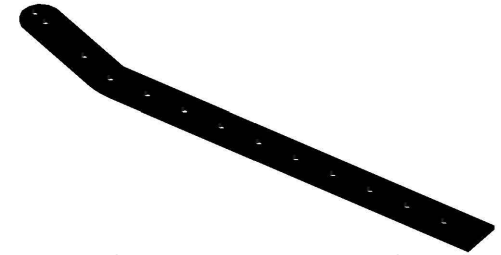
SURCADORA
VISTA TRIDIMENSIONAL
SCL: 1/10



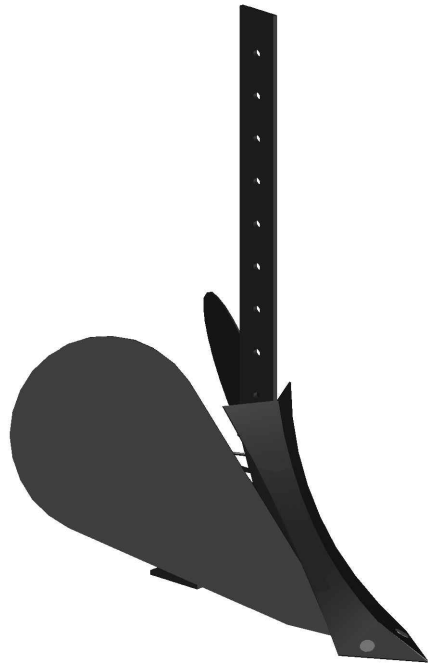
BARRA DE TIRO
VISTA TRIDIMENSIONAL
SCL: 1/10



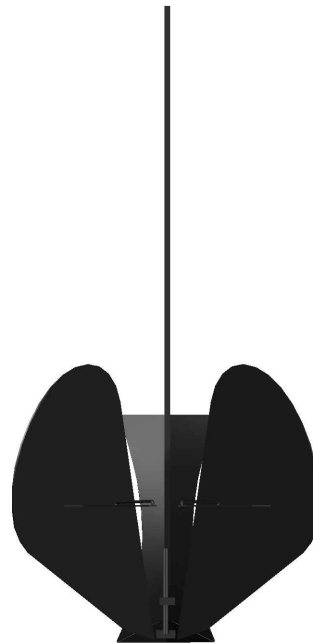
BARRA PORTAHERRAMIENTA
VISTA TRIDIMENSIONAL
SCL: 1/10



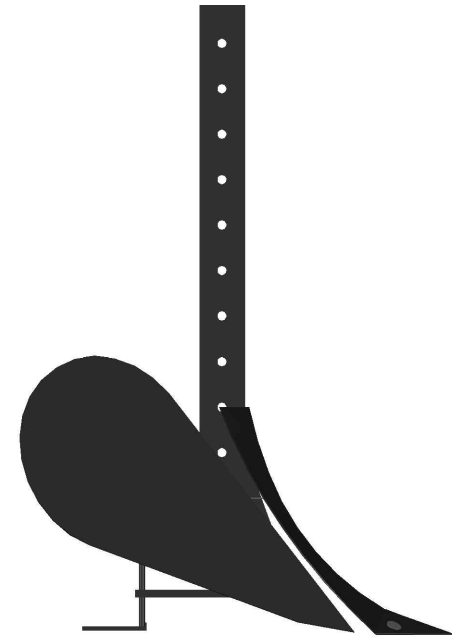
BARRA PORTAHERRAMIENTA MODIFICADA
VISTA TRIDIMENSIONAL
SCL: 1/10




SURCADORA
VISTA TRIDIMENSIONAL
SCL: 1/10



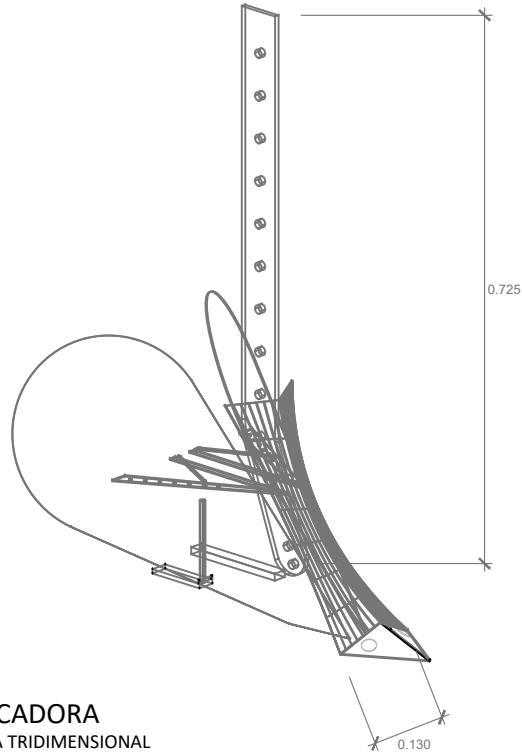
FRONTAL
SCL: 1/10



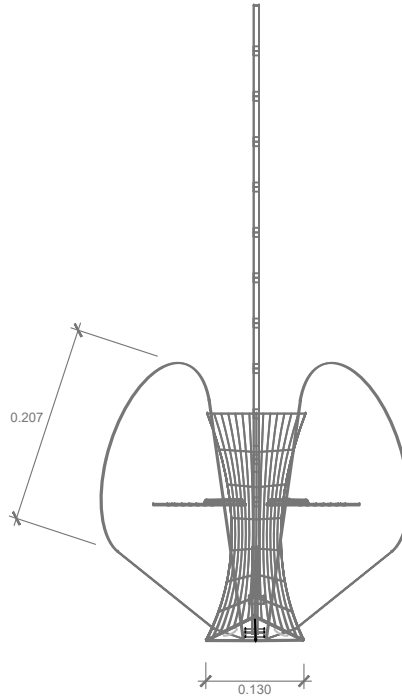
PERFIL
SCL: 1/10

	UNSCH		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA. FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS. ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA.		
	TESIS: COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UNA YUNTA DE BUEY CON UNA MOTOCULTIVADORA DUCATI DTL 13000 EN LA LABRANZA DE SUELOS.		LÁMINA: <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; text-align: center;">01</div>		
TEMA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN		ESPECIALIDAD: ARQUITECTURA	PLANO: PLANTA, PERFIL Y FRONTAL	ESCALA: INDICADA	FECHA: SET 2024
ALUMNO: WALTER MARQUINA GUERRA		CÓDIGO: 21090628			
DIBUJO: WMG.		ASESOR: ING. FEDERICO QUICANO SUAREZ.			

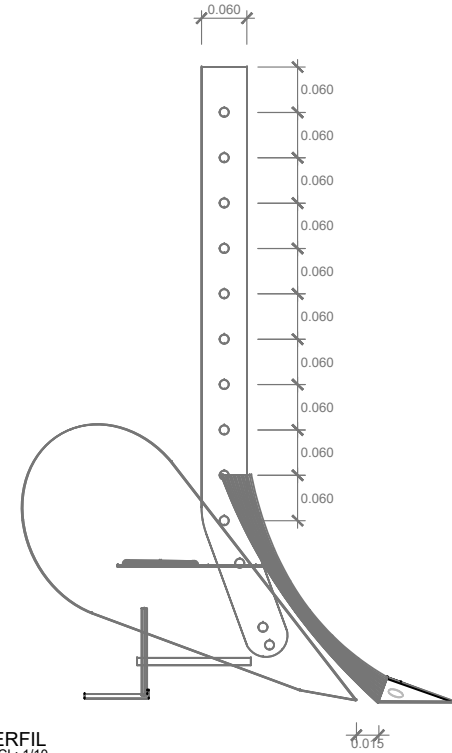
DETALLES DE SURCADORA 3D.



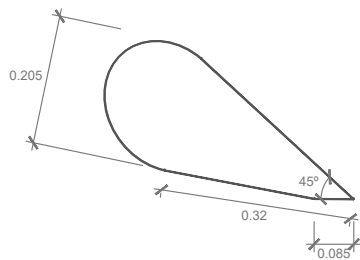
SURCADORA
VISTA TRIDIMENSIONAL
SCL: 1/10



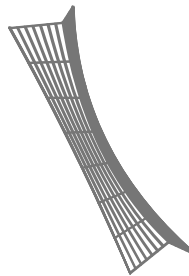
FRONTAL
SCL: 1/10



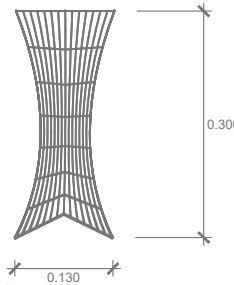
PERFIL
SCL: 1/10



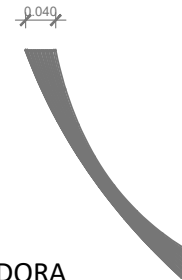
VERTEDERA
VISTA TRIDIMENSIONAL
SCL: 1/10



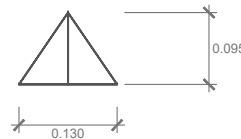
SURCADORA
VISTA TRIDIMENSIONAL
SCL: 1/10



SURCADORA
VISTA TRIDIMENSIONAL
SCL: 1/10



SURCADORA
VISTA TRIDIMENSIONAL
SCL: 1/10



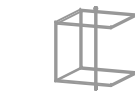
PUNTA DE ACERO
VISTA PLANTA
SCL: 1/10

	UNSCH		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA. FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS. ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA.		
	TESIS: COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UNA YUNTA DE BUEY CON UNA MOTOCULTIVADORA DUCATI DTL 13000 EN LA LABRANZA DE SUELOS.		LÁMINA: 02		
TEMA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN		ESPECIALIDAD: ARQUITECTURA	PLANO: PLANTA, PERFIL Y FRONTAL	ESCALA: INDICADA	FECHA: SET 2024
ALUMNO: WALTER MARQUINA GUERRA		CÓDIGO: 21090628			
DIBUJO: WMG.		ASESOR: ING. FEDERICO QUICANO SUAREZ.			

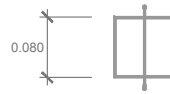
DETALLES DE MOTOCULTIVADORA E IMPLEMENTO AGRÍCOLA (SURCADORA).



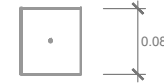
MOTOCULTIVADORA DUCATI 13000
VISTA TRIDIMENSIONAL



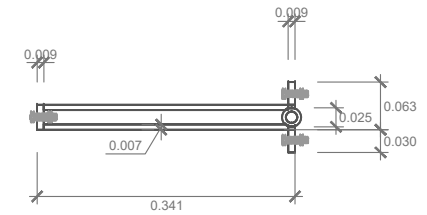
TOMA DE FUERZA
VISTA TRIDIMENSIONAL
SCL: 1/10



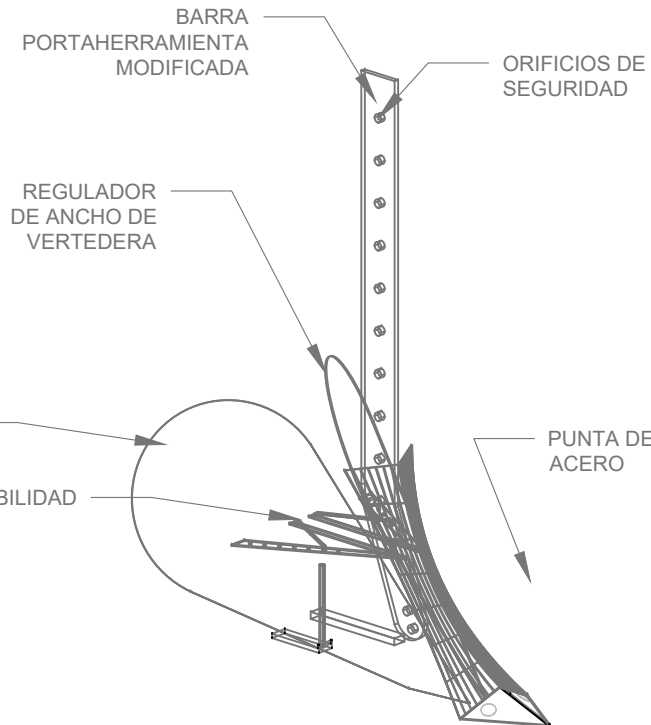
TOMA DE FUERZA
VISTA FRONTAL
SCL: 1/10



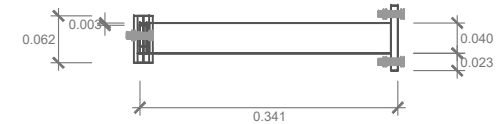
TOMA DE FUERZA
VISTA PLANTA
SCL: 1/10



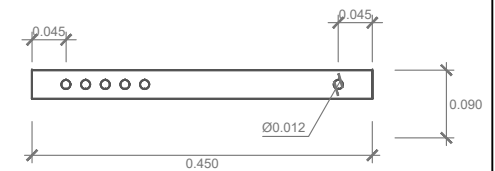
BARRA DE TIRO
VISTA PLANTA
SCL: 1/10



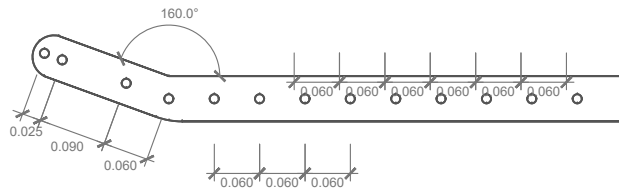
SURCADORA
VISTA TRIDIMENSIONAL
SCL: 1/10



BARRA DE TIRO
VISTA FRONTAL
SCL: 1/10



BARRA PORTAHERRAMIENTA
VISTA PLANTA
SCL: 1/10



BARRA PORTAHERRAMIENTA MODIFICADA
VISTA PLANTA
SCL: 1/10

	UNSCH		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA. FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS. ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA.	
	TESIS: COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE UNA YUNTA DE BUEY CON UNA MOTOCULTIVADORA DUCATI DTL 13000 EN LA LABRANZA DE SUELOS.		LÁMINA: 03	
TEMA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN		ESCALA: INDICADA	FECHA: SET 2024	
ESPECIALIDAD: ARQUITECTURA	PLANO: PLANTA, PERFIL Y FRONTAL	ALUMNO: WALTER MARQUINA GUERRA		
DIBUJO: WMG.		ASESOR: ING. FEDERICO QUICAÑO SUAREZ.		



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. WALTER MARQUINA GUERRA
R.D. N° 387-2024-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los trece días del mes de diciembre del año dos mil veinticuatro, siendo las dieciocho horas, se reunieron en el auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias, bajo la presidencia del Dr. Felipe Escobar Ramírez Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias; los miembros del jurado conformado por Dr. Juan Charapaqui Anccasi, M.Sc. Federico Quicaño Suárez como asesor y Ing. Edgar Tenorio Mancilla y Mtro. Richard Alex Oscco Peceros; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Comparativo técnico y económico de la yunta de buey con una motocultivadora Ducati DTL 13000 en la labranza de suelos**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola presentado por el Bachiller **WALTER MARQUINA GUERRA**.

El señor Decano previa verificación de los documentos exigidos solicitó se proceda con la sustentación y posterior defensa de la tesis en un periodo de cuarenta y cinco minutos de acuerdo al reglamento de grados y títulos vigente. Terminado la exposición, los miembros del Jurado, formularon sus preguntas, aclaraciones y/o observaciones correspondientes. Luego se invito a los miembros del jurado pasar a otra aula para la deliberación y calificación del trabajo de tesis, teniendo el siguiente resultado:

Jurado evaluador	Exposición	Respuestas a las preguntas	Generación de conocimiento	Promedio
Dr. Juan Charapaqui Anccasi	16	15	14	15
M.Sc. Federico Quicaño Suárez	17	18	18	18
Ing. Edgar Tenorio Mancilla	16	15	15	15
Mtro. Richard Alex Oscco Peceros	15	14	15	15
PROMEDIO GENERAL				16

Acto seguido se invita al sustentante y publico en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.

.....
Dr. Juan Charapaqui Anccasi
Presidente

.....
M.Sc. Federico Quicaño Suárez
Asesor

.....
Ing. Edgar Tenorio Mancilla
Jurado

.....
Mtro. Richard Alex Oscco Peceros
Jurado

.....
Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe coordinador responsable de la valoración y verificación de originalidad de los trabajos de investigación y de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, designado mediante la RCF N° 005-2024-UNSCH-FCA-CF; hace constar que el trabajo de tesis titulado;

Comparativo técnico y económico de la yunta de buey con una motocultivadora Ducati DTL 13000 en la labranza de suelos

Autor : Walter MARQUINA GUERRA
Asesor : Federico QUICAHÑO SUAREZ

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de investigación, aprobado mediante RCU N° 039-2021-UNSCH-CU, y RCU N° 1530-2023-UNSCH-CU, emitiendo un resultado de **diecisiete (17 %)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajos estándar**.

En consecuencia, se otorga la presente Constancia de Originalidad para los fines pertinentes.

Nota: Se adjunta el resultado con Identificador de la entrega: 2667161133

Ayacucho, 05 de mayo de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA
Facultad de Ciencias Agrarias

Dr. Yuri Gálvez Gústelú
Coordinador de Control de originalidad de

Comparativo técnico y económico de la yunta de buey con una motocultivadora Ducati DTL 13000 en la labranza de suelos

por Walter MARQUINA GUERRA

Fecha de entrega: 05-may-2025 11:39a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2667161133

Nombre del archivo: TESIS_WALTER_Marquina_turmitin_al_21_1_.docx (43.66M)

Total de palabras: 19706

Total de caracteres: 102302

Comparativo técnico y económico de la yunta de buey con una motocultivadora Ducati DTL 13000 en la labranza de suelos

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

11%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	8%
2	www.portalfruticola.com Fuente de Internet	7%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
4	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1%
5	revistas.untrm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	www.grilloagrigarden.co.uk Fuente de Internet	<1%
7	documents.mx Fuente de Internet	<1%
8	www.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1%

9

www.slideshare.net

Fuente de Internet

<1 %

10

livrosdeamor.com.br

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

Comparativo técnico y económico de la yunta de buey con una motocultivadora Ducati DTL 13000 en la labranza de suelos

Walter Marquina Guerra¹

Federico Quicaño Suarez¹

Área de investigación: Biotecnología

Línea de Investigación: Infraestructura y Mecanización Agrícola

walter.marquina.21@unsch.edu.pe

federico.quicano@unsch.edu.pe

1. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Facultad de Ciencias Agrarias. Av. Independencia s/n.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en una parcela experimental de la comunidad de San Rafael, distrito de Socos, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho a una altitud de 2967 m.s.n.m. durante los meses de setiembre y octubre del año 2023. Se validaron las especificaciones técnicas del tractor de dos ruedas DUCATI DTL 13000 de 13 HP de potencia en la labranza primaria de suelos para la siembra de maíz. La textura del suelo en el campo de cultivo fue franco arcilloso y con un contenido de materia orgánica de 0.99%; con el que se puede precisar como un suelo de buenas características físicas en lo referente a textura y que facilitará una buena germinación y brotamiento luego de la labor de labranza de suelos. En la evaluación técnica, el arado de palo requirió una fuerza de tracción de 132.9 kg. Para las condiciones del campo experimental de la comunidad de San Rafael, requiriendo una potencia de 1.36 HP en la yunta de buey (0.68 HP por cada buey); Los principales parámetros técnicos operativos de la motocultora DUCATI DTL 13000 de en la labranza primaria de suelos con el arado surcador fue de 6.89 HP de los 13 HP que la motocultivadora disponía y desarrolló una fuerza de tracción de 459.5 kg, asimismo, el consumo de combustible fue de 0.017 gal./HP.hr y que para una labor diaria de 8 horas equivale a un consumo de 0.9 galones/día y 1.5 gal/ha., teniendo un gasto económico en la labranza con el arado surcador. La capacidad de trabajo de efectivo fue de 0.028 ha/hr. y 0.076 ha/hr. para el arado de palo y la motocultivadora DUCATI DTL 13000 respectivamente y el tiempo efectivo de 35.48 hr/ha. y 13.27 hr/ha. con el que determina el costo de la labor de la labranza de suelos en 532.8 soles/ha para el arado de palo y 331.75 soles/ha con la motocultivadora DUCATI DTL 13000 para las condiciones del campo experimental de la comunidad de San Rafael.

Palabras clave: Motocultivadora, arado surcador, arado de palo.

ABSTRACT

This research work was carried out in an experimental plot in the community of San Rafael, Socos district, Huamanga province, and Ayacucho department, at an altitude of 2,967 meters above sea level during the months of September and October 2023. The technical specifications of the 13 HP DUCATI DTL 13000 two-wheel tractor were validated for primary tillage of corn. The soil texture in the crop field was clayey loam with an organic matter content of 0.99%; this indicates that the soil has good physical characteristics in terms of texture and will facilitate good germination and sprouting after tillage. In the technical evaluation, the stick plow required a tractive effort of 132.9 kg. For the conditions of the

experimental field of the community of San Rafael, requiring a power of 1.36 HP in the ox yoke (0.68 HP for each ox); The main technical and operational parameters of the DUCATI DTL 13000 motor cultivator in the primary tillage of soils with the furrow plow was 6.89 HP of the 13 HP that the motor cultivator had and developed a traction force of 459.5 kg, also, fuel consumption was 0.017 gal./HP.hr and for a daily work of 8 hours is equivalent to a consumption of 0.9 gallons/day and 1.5 gal/ha., having an economic expense in tillage with the furrow plow. The effective working capacity was 0.028 ha/hr. and 0.076 ha/hr. for the pole plow and the DUCATI DTL 13000 motor cultivator respectively and the effective time of 35.48 hr/ha. and 13.27 hr/ha. with which it determines the cost of soil tillage work at 532.8 soles/ha for the pole plow and 331.75 soles/ha with the DUCATI DTL 13000 motor cultivator for the conditions of the experimental field in the community of San Rafael.

Keywords: Cultivator, furrowing plow, pole plow.

INTRODUCCIÓN

La labor de preparación de suelos agrícolas para el proceso de la siembra de los cultivos alimenticios es una primera actividad prioritaria para la obtención de los alimentos de los pobladores rurales desde los orígenes de la agricultura en todos los ámbitos de la humanidad, se laborearon en un inicio con herramientas rústicas de piedra ó madera, utilizando como fuente de energía la fuerza humana o la tracción animal posteriormente; luego esta labor desde los principios del siglo XX se realiza mediante la mecanización agrícola utilizando los tractores agrícolas, esta tecnología ha permitido avances espectaculares en la tecnología de la producción agrícola paralelamente con introducción nuevas variedades altamente productivas; de modo que la labranza convencional (roturación y volteo e la prisma de suelo) ha permitido aumentar las áreas de siembra debido al incremento de la eficiencia en las labores y al mejoramiento de las propiedades del suelo en la capa arable del suelo. Pero bajo condiciones desventajosas porque también en algunos casos ha permitido la degradación del suelo, cuyo final es la desertificación del mismo. Se estima que el 80% de los suelos agrícolas en el mundo, presentan erosión moderada a severa y 10% erosión ligera a moderada (Cade et.al.; 2012). La labranza tradicional mecanizada tiende gradualmente a incrementar el proceso de la erosión y la densidad de los suelos, induciendo a la compactación, desestructuración y pérdidas del suelo por la erosión, especialmente en prácticas agrícolas de nivelación, laboreo y tráfico de maquinaria pesada en condiciones de humedad alta na mayor profundidad con impactos erosivos sobre el suelo.

Las comunidades altoandinas de la sierra del Perú están habitadas por pequeños agricultores que en su mayoría tienen parcelas agrícolas pequeñas y menores a una hectárea, las mismas que no se pueden laborear con los tractores agrícolas convencionales por las limitaciones de tamaño de parcela y pendiente de suelos; entonces bajo estas condiciones perdura la tecnología de labranza de suelos con el arado de palo tradicional, el cual ante la escasez de bueyes criollos para la tracción se puede sustituir con el uso de las motocultivadoras de hasta 20 HP de potencia. El objetivo general de la tesis fue identificar algunas características físicas del campo de cultivo bajo las condiciones del campo experimental de la comunidad de San Rafael – Socos – Ayacucho y determinar las características y potencialidades técnicas - económicas de una motocultivadora DUCATI DTL 13000 y el arado de palo en la labranza de suelos, asimismo analizar y comparar la factibilidad técnica y económica de sustituir la yunta de buey con una motocultivadora DUCATTI DTL 13000 en la labor de labranza de suelos.

METODOLOGÍA

Lugar y fecha de ejecución

La parcela experimental elegida en la comunidad de San Rafael, es un terreno de textura franco arcilloso con una profundidad promedio de 15 a 25 cm. de capa arable del suelo, con falta de disponibilidad de agua para riego por tal razón se cultiva en épocas de lluvia ósea bajo condiciones de secano. Geográficamente a 584,544.86 m E y 8545,450.82 m S, a una altitud de 2967 m.s.n.m., en el distrito de Socos, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho. Las pruebas de labranza de suelos en campo se realizó en los mes de octubre y noviembre del año 2023, concluyendo aquí la fase de campo y no se continuó con la siembra de algún cultivo.

Análisis físico – químico del suelo

Las características físicas y químicas obtenidas en el Laboratorio a partir de las muestras de suelo obtenidas en campo para relacionar algunas propiedades físicas del suelo con la labranza de suelos realizada en el campo de cultivo, para tal fin se hizo el muestreo en campo y realizado en el Laboratorio de Suelos y análisis Foliar "NICOLAS ROULET" del Programa de Investigación de Pastos y Ganadería en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga,

Materiales y herramientas

Se listan a continuación los principales materiales utilizados para el desarrollo del presente trabajo de investigación experimental.

- ❖ Cordel y sogas.
- ❖ Yeso
- ❖ Estacas
- ❖ Zapapico.
- ❖ Comba.
- ❖ Martillo
- ❖ Combustible y lubricantes

Equipos e Instrumental de medición.

- ❖ Motocultivadora DUCATI 1300
- ❖ Yunta de buey de 600 kg. Peso promedio.
- ❖ Arado de palo y su yugo.
- ❖ Arado surcador
- ❖ Flexómetro de 5 m.
- ❖ Wincha de 50 m.
- ❖ Cronómetro
- ❖ Dinamómetro digital
- ❖ Cámara fotográfica digital
- ❖ Balanza electrónica
- ❖ Camioneta Hilux.

Medición de variables e indicadores.

Medición de fuerza de tiro

En caso de la motocultivadora fuerza de tracción a la barra de tiro, se midió con un dinamómetro digital con una capacidad de 1000 Kg. El mismo que nos da directamente la fuerza de tiro; en el caso del arado de palo se le acopla entre la parte central del yugo y el extremo anterior del timón amarrando con cables por sus dos extremos del dinamómetro,

mientras en la motocultivadora los ganchos del dinamómetro se acoplan a la barra de tiro y el enganche del arado surcador.

Cálculo de velocidad

En el presente trabajo se calculó la velocidad utilizando un cronometro para medir el tiempo necesario que requirió de la yunta de buey y la motocultivadora para su recorrido en una distancia de 20 metros durante el laboreo.

Cálculo de potencia

Una vez obtenido la fuerza de tiro directamente en el timón del arado de palo y en la barra de tiro de la motocultivadora, se multiplica la fuerza de tiro por la velocidad promedio de la yunta de buey o motocultivadora según sea el caso para obtener la potencia desarrollada.

$$P = F \times V$$

Dónde:

P = Potencia en la yunta de buey o motocultivadora

F = Fuerza de tiro medido con el dinamómetro

V = Velocidad promedio de la yunta de buey o motocultivadora.

Validación de consumo de combustible en la Motocultivadora.

El procedimiento es el siguiente:

1. Se llena el tanque de la motocultivadora con el combustible idóneo al 100%.
2. Se abre la válvula de control para el ingreso del combustible hacia la bomba de succión e inyección.
3. Encendemos el motor y ponemos en funcionamiento a la motocultivadora.
4. Se especifican los siguientes rangos de trabajo:
 - Operación mínima: Sin presionar el acelerador
 - Operación máxima: Presionando el acelerador a fondo.
 - Operación promedio: Presionando el acelerador a un nivel medio constante.
5. Se registran los tiempos de funcionamiento del motor.
6. Para los siguientes registros, con la motor apagado se procede a llenar de nuevamente el tanque hasta la marca inicial (100%), para corroborar el volumen consumido por el motor.

Cálculo de la tracción unitaria en la labranza.

Como primer parámetro de adaptación, es el cálculo de la fuerza aplicada al arado aporcador del suelo que resulta como reacción al paso de la herramienta de corte del aporcador, esta fuerza depende del tipo del suelo, número de cuerpos aporcadores y las dimensiones de la herramienta.

$$T_u = \frac{F}{a * p * n}$$

Dónde:

Tu = Tracción unitaria para suelo (Kg/dm²)

F = Fuerza de tracción (Kg.)

a = ancho de labranza (dm)

p = profundidad de labranza (dm)

n = Número de cuerpos del arado

Rendimiento o capacidad de trabajo en campo (CTC).

Es la cantidad de trabajo que puede realizar una máquina en un tiempo determinado. La capacidad de trabajo puede ser teórica (CTC), que solo se utiliza como un valor

referencial, donde no se incluye los tiempos muertos cuando la maquina realiza la labor encomendada, como si la máquina trabajara al 100 % y la capacidad efectiva de campo (CEC), que es la que se utiliza para los cálculos de maquinaria, considerando los tiempos muertos debido a las paradas por motivos diversos (Vuelta en cabecera de chacra, descansos fortuitos, etc.).

$$CTC = \frac{V.A.}{10}$$

$$CEC = \frac{V.A.Ec}{10}$$

CTC = capacidad teórica de trabajo o de campo, en ha/hr
 CEC = capacidad efectiva de trabajo o de campo, en ha/hr
 V = velocidad de avance de la máquina, en km/hr
 A = ancho efectivo de trabajo de la máquina, en m
 Ec = Eficiencia de campo

La determinación de la capacidad de trabajo o capacidad horaria se da en máquinas que trabajan en superficies en este caso los arados.

Tiempo operativo. Se calculó el tiempo expresado por unidad de horas por hectárea en ambos casos

$$T_o = \frac{1}{CTC}$$

Tiempo efectivo. Es la inversa de la capacidad efectiva de campo, también aplicable para ambos casos.

$$T_e = \frac{1}{CEC}$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas del suelo en el campo experimental

Según los reportes procesados respecto a las propiedades físicas del suelo previo a la prueba de labranza, la tabla 1, muestra las principales características físicas y químicas del suelo muestreado en el Predio “San Rafael”.

Tabla 1. Características físicas y químicas de muestra de suelo del predio “San Rafael”.

Propiedades físicas	Unidad	Valor	Método	Interpretación según análisis de caracterización.
pH		8.01	Potenciómetro	Moderadamente alcalino
M.O	(%)	0.99	Walkley Black	Bajo
N-Total	(%)	0.05	Kjeldahl	Bajo
P-Disp.	(ppm)	2.4	BrayKurtz	Bajo
K-Disp	(ppm)	83.0	Turbidimetría	Bajo
Arena	(%)	39.6	Hidrómetro	
Limo	(%)	20.7	Hidrómetro	
Arcilla	(%)	39.6	Hidrómetro	
Clase textual			Franco arcilloso	

Fuente: Análisis de caracterización – Laboratorio de Suelos y análisis Foliar “NICOLAS ROULET” del Programa de Investigación de Pastos y Ganadería en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga,

De modo que conforme a la cantidad de arcilla, limo y arena obtenida en el presente análisis el suelo es de clase textural franco arenoso y por su bajo contenido de materia orgánica se considera como un suelo pobre en materia orgánica; del mismo modo el contenido de nitrógeno y fósforo disponible es muy bajo, pero el contenido potasio podría considerarse como medio. Los suelos de textura franco arenosa son suelos de textura media que tienen mucha facilidad para el movimiento del agua en el suelo y de disponibilidad rápida de agua en la zona radicular de las plantas. Por abarcar un suelo arcilloso y arenoso, tiene una fertilidad media, una capacidad media de erosión y una capacidad de mineralización de la materia orgánica media y por lo tanto es un suelo muy importante para los cultivos anuales por la facilidad en el laboreo, Corbella (2023) Precisa que las propiedades físicas de los suelos agrícolas son los responsables el papel que desempeña el suelo en un ecosistema y como debe hacerse su manejo y conservación como un recurso renovable; en la agricultura sustentable las propiedades físicas del suelo determinan el proceso de crecimiento de los cultivos, el movimiento del agua en el suelo, crecimiento y desarrollo radicular de las plantas y absorción de elementos nutrientes entre otros; donde el buen laboreo del suelo contribuye en la mejora temporal de estas propiedades físicas del suelo.

Textura de suelos

Según a la cantidad de arcilla, limo y arena obtenida en el análisis físico de suelo, es de clase textural franco arcilloso y por su bajo contenido de materia orgánica se considera como un suelo mineral; del mismo modo el contenido de nitrógeno y fósforo total es muy bajo, pero el contenido potasio podría considerarse como medio. Los suelos de textura franco arcillosa son suelos de textura media que tienen una buena capacidad de retención de agua por el alto contenido de arcilla, pero también la disponibilidad de agua para la planta es con mucha facilidad. Por abarcar un suelo arcilloso y arenoso, tiene una fertilidad media, una capacidad media de erosión y una capacidad de mineralización de la materia orgánica media y por lo tanto es un suelo muy importante para los cultivos anuales por la facilidad en el laboreo (Jaramillo, 2002).

Estructura del suelo.

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, arcilla y limo. Cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores y se denominan agregados, los mismos que determinan el esponjamiento y la buena aireación del suelo; los suelos de la parcela experimental de San Rafael por su regular contenido de materia orgánica tienen una regular estructura que facilita la labor de labranza de suelos debido a su fácil esponjamiento; no se realizaron las pruebas de laboratorio.

Descripción y operación del Arado de palo tradicional

El arado de palo es un implemento agrícola para la labranza de suelos, utilizado en terrenos de pendiente moderada y es de peso liviano y fácil de transportarlo y sólo presentan una punta o reja de acero, todo el resto del arado es de madera, incluyendo el yugo. Este tipo de arado fue introducido a nuestro país por los españoles en los primeros años de la conquista junto con los animales de tiro. El arado de palo como fuente de energía para la labranza de suelos se utiliza en las diferentes zonas de la Sierra y tienen la misma configuración hasta la fecha. El uso se adecuó a múltiples actividades como:

- Labranza de suelos
- Surcado antes de la siembra
- Apertura de canales de riego en las parcelas
- Tapado de semilla
- Cosecha de tubérculos andinos



Figura 1. Arado de palo.

Por la configuración simétrica hacia un eje longitudinal, el arado de palo trabaja como un surcador volteando la prisma de suelo a ambos lados del surco; de modo que es considerado como un implemento para la labranza de conservación puesto que el rastrojo es enterrado parcialmente y gran parte de ello sirve como cobertura para la protección del suelo, según precisa Galindez (1981).

Descripción de la Motocultivadora DUCATI DTL 13000

La motocultivadora Ducati de 13 HP de potencia y cuyo modelo es DTL13000, es una máquina de arranque manual y parada automática, con un potente motor de 389 cc, gran capacidad de trabajo gracias a su tanque de combustible de 6,5L, es un equipo muy versátil capaz de responder a todas las situaciones de trabajo en la agricultura, multifuncional y de gran poder. Esta potente máquina es especial para terrenos planos (por su peso), la potencia de su motor permite que al toma de fuerza se le puedan conectar accesorios tales como cosechadoras, segadoras, arados rotativos, remolque, entre otros implementos de trabajo; permite realizar trabajos agrícolas de dificultad media a alta dificultad y adaptable a todo tipo de terreno; de modo que la motocultivadora en estudio es un mini tractor agrícola de un solo eje que dispone de arado surcador, arado de disco, arado de vertedera o arado rotativo para la labor de labranza primaria.



Figura 2. Motocultivadora DUCATI DTL13000 de 13 HP de potencia.

Fuente: Manual de operaciones DUCATI

El trabajo del arado surcador con la motocultivadora es parecido al arado de palo; tiene una simetría longitudinal y a difiere en tener dos vertedera hacia los lados laterales que le permite voltear la prisma de suelo en mayores volúmenes y poder enterrar la mayor parte de los rastrojos.

Evaluación cualitativa de las tecnologías de labranza utilizados

Tanto el arado de palo como el arado surcador tienen mucha similitud en la forma de laboreo tiene sus dispositivos para roturar el suelo (reja) y otro dispositivo para abrir el surco y voltear parcialmente el suelo (La cama en el arado de palo y las vertederas en el arado surcador); si es que se compara con el arado cincel la diferencia sería en que los arados cinceles solamente rompen la capa arable del suelo pero no tienen sus dispositivos para el volteo por lo tanto no pueden enterrar los rastrojos de la superficie del suelo (Galindez, 1981). Este tipo de trabajo requiere suelos relativamente secos, para que se produzcan grietas y un efecto “resquebrajador” deseado, sin embargo no se ha notado en el presente trabajo de investigación; las características técnicas se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de las **características técnicas** evaluadas del arado de palo con la motocultivadora DUCATI DTL de 13 HP de potencial

TIPO DE ARADO	FORMA DE LABOREO	ÓRGANOS OPERATIVOS	REGULACIÓN DE ANCHO Y PROFUNDIDAD	PESO
Arado de palo	Realiza la labor de corte y volteado parcial de suelos a ambos lados con tracción animal	Reja para el corte y cama para abrir el surco y el volteo a ambos lados del surco	Profundidad: mediante la variación del ángulo vertical entre el timón y la cama, a través de la telera Ancho: Depende del grosor de la cama a mayor grosor mayor ancho de trabajo	18 kg
Arado surcador	Realiza la labor de corte y volteado parcial de la prisma de suelo con tracción mecánica.	Un puntal, dos rejas para el corte y dos vertederas para el volteo de prisma de suelo.	Profundidad: mediante el brazo vertical del brazo portaherramientas Ancho: Abriendo o estrechando las dos vertederas del arado	21 kg.

Los arados utilizados en la presente investigación de acuerdo a su diseño roturan el suelo de diferentes formas luego realizan el volteados para enterrar los rastrojos, a excepción del arado rotativo que pulveriza y mezcla el suelo labrado superficialmente y sin alterar el perfil del suelo a mayor profundidad, las características operativas se resumen en la tabla 3, donde se puede apreciar similitud en la forma de trabajo de ambos arados.

Tabla 3. Resumen de las **características operativas** evaluadas del arado de palo con la motocultivadora DUCATI DTL 13000 13 HP de potencia

NOMBRE	Incorporación de residuos vegetales y fertilizantes	Eliminación de reproducción en malezas, plagas y enfermedades	Rompe la compactación de la capa arable del suelo	infiltración del agua en el perfil del suelo	Laboreo en suelos irregulares y pedregosos
--------	---	---	---	--	--

Arado de palo	La incorporación de rastrojo es parcial al voltear parcialmente la prisma de suelo	Debido al volteo parcial no destruye mecánicamente la totalidad de fuentes de propagación	A menor o mayor profundidad laboreada	Facilita la infiltración a media profundidad.	Trabaja bien sin ninguna limitación, incluso en terrenos pedregosos
Arado surcador	La incorporación de rastrojo es parcial, una parte queda en la superficie de la capa arable	Debido a la mayor remoción de la prisma de suelo destruye más las fuentes de propagación	A menor o mayor profundidad laboreada	Facilita la infiltración a media profundidad	No puede trabajar, se rompen las rejas

Según Laguna-Blanca (2012); a pesar que el arado de discos y el arado de vertedera utilizan para la labranza primaria, la forma de trabajo de uno y otro es diferente teniéndose ventajas o y desventajas según las condiciones de trabajo y el tipo de suelo. El arado de vertedera deja una solera de surco en el fondo de la capa arable y a la misma profundidad. Por el contrario, el arado de discos deja una solera de surco ondulada con pequeñas crestas sin labrar. Estas crestas serán menores cuanto mayor sea el ángulo de corte del arado y cuanto más próximos entre sí estén los cuerpos de arado y viceversa, serán mayores las crestas, a menor ángulo de corte y mayor separación entre cuerpos. De esto se deduce que, a igualdad de profundidad de labor, el arado de discos deja más porciones de terreno sin labrar que el de vertedera. Para evitar este riesgo, los fabricantes de este tipo de aperos han ido, de día en día, perfeccionando los sistemas de seguridad de los mismos hasta conseguir algunos, lo suficientemente eficaces y cómodos como para subsanar el problema de las piedras gruesas. Los arados de discos en este tipo de terrenos encuentran menos problemas, ya que el disco, al ser su elemento de corte una superficie redondeada cuando encuentra una piedra tiene más facilidad para rodar sobre ella, y una vez sorteada ésta volver a su profundidad de trabajo.

Velocidades en la labranza de suelos

Evaluando las velocidades de labranza de suelos en el promedio de tres pasadas se tiene como resultado que el arado surcador desarrolla una velocidad promedio de 2.76 Km/hr (Tabla 4.).

Tabla 4. Resultados de velocidades de labranza de suelos en el arado de palo

LABRANZA CON EL ARADO DE PALO	D (m.)	Tr (seg.)	V (m/seg.)	V (km/hr.)
Primera pasada	20	23.52	0.85	3.06
Segunda pasada	20	26.66	0.75	2.7
Tercera pasada	20	28.57	0.7	2.52
PROMEDIO	20	26.25	0.77	2.76

El promedio de las velocidades de labranza de suelos resulta en que el arado surcador tiene la mayor velocidad de trabajo y el arado palo tiene como valor menor velocidad de trabajo; esto estaría fundamentado por la mayor fuerza de tiro aplicado al implemento en el caso de la motocultivadora por la alta potencia del mismo que llega a 3.85 km/hr (Tabla 5).

Tabla 5. Resultados de velocidades de labranza de suelos en la motocultivadora

LABRANZA CON EL ARADO SURCADOR	D (m.)	Tr (seg.)	V (m/seg.)	V (km/hr.)
Primera pasada	20	19	1.05	3.78
Segunda pasada	20	16.6	1.2	4.32
Tercera pasada	20	21.1	0.95	3.42
PROMEDIO	20	18.9	1.07	3.84

Fuerza de tiro, Potencia y torque

Las mediciones de la fuerza de tracción con el dinamómetro, permite realizar los cálculos de potencia utilizada o requerida tanto en la tracción animal como en la motorizada a barra de tiro más la potencia al eje toma de fuerza en el caso de la motocultivadora DUCATI; los resultados de la fuerza de tiro obtenida en el arado de palo como promedio fue de 132.9 kg. Y con la velocidad promedio calculada de 2.77 km/hr, la potencia desarrolla por la yunta de buey es de 1.44 HP; cuyos valores son muy cercanos a los obtenidos por Galindez (1981) en las pruebas de campo realizadas en el Valle del Mantaro, Junín. (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados de potencia con la tracción de la yunta de buey

LABRANZA CON EL ARADO DE PALO	FUERZA DE TIRO (Kg)	Vel. (Km/hr.)	Potencia bruta (HP.)	Eficiencia transmisión (%)	Potencia utilizada (HP)
Primera pasada	132.8	3.06			1.51
Segunda pasada	128.2	2.7			1.28
Tercera pasada	137.7	2.52			1.29
PROMEDIO	132.9	2.76			1.36



Figura 3. Medición de la fuerza de tiro en el arado de palo y surcador en la motocultivadora

En la variable de tracción en la barra de tiro; Mayans-Céspedes (2010), indica que al aumentar la carga (velocidad de giro en el eje de cigüeñal), aumenta la potencia de tracción en la barra de tiro, el gasto horario de combustible y también el patinaje de las ruedas motrices, disminuyendo la velocidad de trabajo y el consumo específico de combustible; este detalle en la motocultivadora se presenta para cada posición en la caja de cambio de velocidad

Tabla 7. Resultados de potencia en la barra de tiro y potencia al motor

LABRANZA CON EL ARADO SURCADOR	FUERZA DE TIRO (Kg)	Vel. (Km/hr.)	Potencia A barra de tiro (HP.)	Eficiencia transmisión (%)	Potencia utilizada (HP)
Primera pasada	466.3	3.78	6.53	0.95	6.87
Segunda pasada	461.0	4.32	7.38	0.95	7.77
Tercera pasada	451.2	3.42	5.72	0.95	6.02
PROMEDIO	459.5	3.84	6.54	0.95	6.89

En la tabla 7 se observa que la fuerza de tiro medida con el dinamómetro es de 459.5 kg y para la velocidad promedio de trabajo calculada de 3,85 km/hr la potencia a la barra de tiro es de 6.89 HP y con una eficiencia de transmisión de 95% la potencia desarrollada por el motor es de 6.55 HP., defiere con lo determinado por Rivera, (2021) que con una motocultivadora AMET de procedencia china determinó 15.5 HP de potencia para el caso de arado de vertedera y bajo las condiciones de Pampa del Arco; que también estaría fundamentado por el mayor ancho y profundidad de trabajo a diferencia del arado surcador.

Consumo de combustible en la motocultivadora

Teniendo en consideración que un galón de combustible equivale 3.785 litros el resumen de consumo de combustible se muestra en la tabla 8. El gasto de combustible por el motocultor Ducati 13000 por hora de tiempo de explotación, fue de 0,43 L/h, lo que viene a ser 0.113 Gal/h.

Tabla 8. Consumo de combustible en el motocultor Ducati 13000.

ARADO SURCADOR	Litros/hr	gal/hr	P	Gal/hr/HP
Primera prueba	0.39	0.103	6.55	0.016
Segunda prueba	0.42	0.111	6.55	0.017
Tercera prueba	0.47	0.124	6.55	0.019
PROMEDIO	0.43	0.113	6.55	0.017

3.1. Factores operativos de la motocultivadora en la labranza de suelos

La labranza de suelos con la motocultivadora y el arado surcador tiene como finalidad principal reducir los tiempos en la labor de labranza y también reducir los costos del laboreo y a su vez contribuir en la obtención de una mayor productividad del cultivo; realizar la preparación de suelos con la tecnología adecuada, reduciendo y ahorrando la fuerza física del campesino de modo que la actividad sea más productiva y no genere cansancio y aburrimiento durante el trabajo de campo; sin embargo; las motocultivadoras y sus respectivos aperos constituyen una tecnología innovadora aplicable en términos económicos debido a los bajos costos en el mercado de maquinaria agrícola; pero que para lograr el máximo provecho de estas maquinarias es importante la capacitación en el uso correcto de estos equipos agrícola y es necesario asegurar la correcta operación y mantenimiento que permitan su uso eficiente y rentable durante mucho tiempo y que las máquinas funcionen cumpliendo su trabajo con alto rendimiento, eficiencia mecánica y productividad, para ello es necesario el estudio detallado de las características físicas del suelo, el tipo de cultivo a instalar y conocer el gama de implementos para las labores agrícolas que deberán realizarse. (Alva et.al. 2015)

Evaluación de la capacidad de trabajo en la labranza de suelos

La capacidad de trabajo teórico o de campo se ha calculado con las variables velocidad promedio de trabajo del arado y su ancho de trabajo de cada uno de los implementos (Tabla 9 y 10). Se ha calculado primero el tiempo de recorrido de la motocultivadora más el implemento en una distancia de 20 m de distancia y el tiempo promedio controlado en las tres repeticiones.

Tabla 9. Resultados de capacidad de trabajo teórico con el arado de palo

Implemento	V (km/hr)	A (m.)	CTT (Ha/hr)	To (hr/ha.)
Arado de palo				
Primera prueba	3.06	0.16	0.049	20.41
Segunda prueba	2.7	0.16	0.043	23.26
Tercera prueba	2.52	0.16	0.04	25.00
PROMEDIO	2.76	0.16	0.044	22.89

Tabla 10. Resultados de capacidad de trabajo teórico con el arado surcador (Motocultivadora DUCATI).

Implemento	V (km/hr)	A (m.)	CTT (Ha/hr)	To (hr/ha.)
Arado surcador				
Primera prueba	3.78	0.25	0.095	10.53
Segunda prueba	4.32	0.25	0.108	9.17
Tercera prueba	3.42	0.25	0.086	11.76
PROMEDIO	3.84	0.25	0.096	10.49

La limitación del arado de palo es que se tiene un solo cuerpo de arado de modo que el ancho de labor es menor comparado al arado surcador que tiene dos vertederas; todo esto ha repercutido en que la capacidad de trabajo teórico desarrollado es menor a los valores obtenidos con el arado de palo y arado surcador. La eficiencia de campo se obtiene, teniendo en consideración que las pérdidas de tiempo por las paradas en el caso del arado de palo se considera también los descansos de la yunta de buey por 2 horas dentro de la jornada de las 8 horas de trabajo y también en el motocultivador principalmente el tiempo de demora al voltear en la cabecera de la chacra, para el caso del arado de palo se estimó en 0.64 y para la motocultivadora con el arado surcador 0.79.

Tabla 11. Resultados de capacidad de trabajo efectivo y tiempo efectivo en el arado de palo

Implemento Arado de palo	CTT (Has/hr)	Ec.	CEC (Ha/hr)	Tefe (hr/ha.)
Primera prueba	0.049	0.64	0.031	32.26
Segunda prueba	0.043	0.64	0.028	35.71
Tercera prueba	0.04	0.64	0.026	38.46
PROMEDIO	0.044	0.64	0.028	35.48

Tabla 12. Resultados de capacidad de trabajo efectivo y tiempo efectivo en el arado surcador

Implemento Arado surcador	CTT (Has/hr)	Ec.	CEC (Ha/hr)	Tefe (hr/ha.)
Primera prueba	0.095	0.79	0.075	13.33
Segunda prueba	0.108	0.79	0.085	11.76
Tercera prueba	0.085	0.79	0.068	14.71
PROMEDIO	0.096	0.79	0.076	13.27

Los resultados obtenidos en la Tabla 12, tienen correlación con los resultados obtenidos en la tabla 11 para calcular la capacidad efectiva de campo y tiempo operativo; de modo que el mayor rendimiento efectivo se obtiene con el arado surcador y el menor rendimiento efectivo con el arado de palo. Se debe indicar que el arado de palo, realiza un volteado incompleto del prisma de suelo, sin embargo, el arado surcador al trabajar con dos cuerpos de arado tiene mayor cobertura de área de trabajo. El trabajo fundamental del arado de palo, es la labranza primaria, o sea roturar y voltear el suelo produciendo un buen mullimiento y aireación del mismo. Incorpora los rastros para su descomposición, similar al arado surcador, pero éste desmenuza mejor los terrones de tierra siempre y cuando no esté demasiado húmeda.

Costos de la labor de labranza.

Los costos de la labranza de suelos para el arado de palo y arado surcador se ha determinado con el tiempo operativo determinado en las tablas 8 y 9. En el caso del arado de palo las 35.48 horas requerida se ha dividido entre 8 para convertirlo en jornales que es de 4,44 jornales; con estos valores de tiempo teniendo los costos de alquiler promedio en la zona se ha obtenido el costo total de laboreo por hectárea de 517.0 soles para el arado de palo y 329 soles para el arado surcador con la motocultivadora (Tabla 13)

Tabla 13. Análisis comparativo de costos de labranza con los arados

Implemento de labranza primaria	Unidad	Tiempo x hectárea	Costo unit. (soles/hr)	Costo total (soles/ha)
Arado de palo	Jornal	4.44	120.00	532.80
Arado surcador	horas	13.27	25.00	331.75

4.1 CONCLUSIONES

1. Las condiciones físicas del campo de cultivo en la parcela experimental de la comunidad de San Rafael – Socos – Ayacucho fue franco arcilloso y con un contenido de materia orgánica de 0.99%; con el que se puede precisar que el suelo tiene buena textura que facilita la fácil realización de la labranza de suelo con el arado de palo y el arado surcador accionado por la motocultivadora DUCATI 13000.
2. En la evaluación técnica el arado de palo requirió una fuerza de tracción de 132.9 kg. Para las condiciones del campo experimental de la comunidad de San Rafael, requiriendo una potencia de 1.36 HP en la yunta de buey (0.68 HP por cada buey); Las características técnicas de la motocultora DUCATI 13000 de 13 HP de potencia disponible, en la labor de labranza de suelos con un arado surcador requirió solamente 6.89 HP de potencia y desarrolló una fuerza de tracción de 459,5 Kg, asimismo el consumo de combustible fue de 0.017 gal./HP.hr y para una labor diaria de 8 horas equivale a un consumo de 0.9 galones/día y 1.5 gal/ha., haciendo un gasto económico en la labranza con el arado surcador.
3. La capacidad de trabajo de efectivo fue de 0.028 ha/hr y 0.076 ha/hr para el arado de palo y la motocultivadora DUCATI 13000 respectivamente y el tiempo efectivo de 35.48 hr/ha. y 13.27 hr/ha con el que se estableció el costo de la labor de la labranza de suelos en 532.8. soles/ha para el arado de palo y 331.75 soles/ha con la motocultivadora DUCATI 13000 para las condiciones del campo experimental de la comunidad de San Rafael.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva; C., Baba; N. y J. Velásquez. (2015). *Costos y rendimientos en la labranza convencional y mecanizada de la agricultura familiar en la comunidad campesina Barrio Bajo de Matucana*. Revista ECI Perú Volumen 12, número 2 Diciembre 2015. Universidad Nacional Agraria La Molina. Japan International Cooperation Agency-JICA, Apartado Postal 18-0261, Lima 18, PE. DOI: <https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2015.0021/>
- Alva, C. (2016). *Labranza con motocultores, motoazada y labranza tradicional en terrazas en la agricultura familiar- Comunidad Campesina Barrio Bajo, Matucana - Lima*. [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2221/F07-A4-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- BARAÑAO, T. (1982). *Maquinaria Agrícola*. Editorial. Hemisferio Sur. Buenos Aires.
- Galindez, A. (1981). *Diagnóstico de los implementos agrícolas tradicionales, modificaciones y nuevos diseños en el arado de palo en el valle del Mantaro* [Título profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Académico de la Universidad de Nacional Agraria La Molina.

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL_33f8481dd2c29f2a27e4864516515b60/Details

Nwakaire, J.N., et Al. (2018). *Refurbishment and evaluation of a twowheeled tractor*. Niger. J. Technol., 37: 1168-1175.

https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=q-UWzvgAAAAJ&citation_for_view=q-UWzvgAAAAJ:dshw04ExmUIC

Quimis-Guerrido, et Al. (2020). Evaluación tecnológico-explotativa del motocultor Dongfeng DF 151L en preparación de suelo para sembrar maíz. La Técnica Revista de las Agrociencias ISSN 2477-8982. Edición especial. 47-64. 10.33936/la_tecnica.v0i24.2216.

https://www.researchgate.net/publication/345304543_Evaluacion_tecnologico-explotativa_del_motocultor_Dongfeng_DF_151L_en_preparacion_de_suelo_para_sembrar_maiz

Rivera, R. (2021), *Adaptación y evaluación de una cultivadora multiuso de tracción mecánica en cultivos alimenticios, Ayacucho - 2020* [Título profesional, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Académico de la Universidad de Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

<https://repositorio.unsch.edu.pe/items/408e40ca-4caa-4303-8c57-f23588b36723>

Tejada, T. (2022), Generación de un equipo de labranza para la agricultura familiar: La Cultivadora INIA. *Revista de Investigación Agropecuaria Science and Biotechnology, Vol. 02*, 17-31.

<https://repositorio.inia.gob.pe/server/api/core/bitstreams/0b5ce9d6-191f-4913-ba75-fcbae6117329/content>