

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

**Evaluación de dos modelos de arado con motocultivadora
DUCATI DTL 13000 en la labranza primaria de suelos,
Ayacucho - 2025**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:
Bach. Ronald QUISPE RUPAY

ASESOR:
M.Sc. Federico QUICAÑO SUAREZ

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, Feliciano Rupay de Quispe, 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, Alberto Quispe Ochoa, por enseñarme a nunca rendirme y que siempre se puede empezar de cero.

A mis hermanos, Ana, Rubén, Pelagio, Raquel, Juan Bernabé, Juan Benoel, Edith, por su confianza, comprensión, apoyo incondicional y ejemplos de hermano mayor.

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.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	12
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
Objetivo general.....	16
Objetivos específicos	16
1. CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	18
1.1. Antecedentes	18
1.1.1. Antecedentes a nivel internacional.....	18
1.1.2. Antecedentes a nivel nacional	20
1.1.3. Antecedentes a nivel local.....	22
1.2. Bases teóricas	25
1.2.1. Mecanización agrícola	25
1.2.2. Motocultivadoras y su aplicación en la labranza.....	29
1.2.3. Motocultivadora DUCATI DTL 13000.....	33
1.2.4. Características técnicas y fundamentos de la labranza primaria	36
1.2.5. Parámetros técnicos y agrotécnicos.....	40
1.2.6. Adaptación de los aperos a las condiciones de suelo, cultivo y clima	43

1.2.7.	Eficiencia energética y análisis económico.....	44
2.	CAPÍTULO II METODOLOGÍA	47
2.1.	Aspectos generales del proyecto	47
2.1.1.	Ubicación	47
2.1.2.	Clima.....	48
2.1.3.	Antecedentes del lugar experimental.....	50
2.1.4.	Características físicas y químicas de la parcela experimental.....	51
2.2.	Materiales y equipos	53
2.2.1.	Gabinete	53
2.2.2.	Equipos de campo.....	53
2.3.	Diseño experimental.....	54
2.3.1.	Objetivo del diseño experimental.....	54
2.3.2.	Tipo de diseño y tratamientos	55
2.3.3.	Unidad experimental y tamaño de parcela.....	56
2.3.4.	Distribución espacial y montaje de parcelas	56
2.3.5.	Aleatorización	56
2.3.6.	Manejo y operaciones experimentales estandarizadas	57
2.3.7.	Variables a registrar en campo por parcela y frecuencia de medición	57
2.3.8.	Procedimiento para la toma de datos replicables	58
2.3.9.	Modelo estadístico y análisis planificado	59

2.3.10.	Justificación del número de repeticiones y potencia experimental	60
2.4.	Variables evaluadas	60
2.4.1.	Variables operativas.....	60
2.4.2.	Variables de desempeño y eficiencia.....	61
2.4.3.	Variables energéticas	62
2.4.4.	Variables físicas del suelo.....	63
2.4.5.	Variables económicas	63
2.4.6.	Variables evaluadas	63
2.5.	Procedimiento experimental.....	64
2.5.1.	Preparación del terreno	65
2.5.2.	Calibración de la motocultivadora y de los implementos	65
2.5.3.	Ejecución de la labor de labranza.....	66
2.5.4.	Registro y procesamiento de datos	66
2.5.5.	Control de calidad experimental.....	67
2.6.	Análisis estadístico	67
3.	CAPÍTULO III RESULTADOS	68
3.1.	Presentación general de los resultados.....	68
3.2.	Resultados de los parámetros técnicos de labranza.....	69
3.2.1.	Velocidad de avance y profundidad de trabajo	69
3.2.2.	Capacidad teórica, capacidad efectiva y eficiencia de campo	70

3.2.3.	Potencia requerida y demanda de tracción.....	71
3.2.4.	Discusión de los resultados técnicos.....	72
3.3.	Resultados de los parámetros técnicos de labranza.....	72
3.4.	Evaluación de la fuerza de tracción y consumo de combustible	75
3.5.	Eficiencia energética de los tratamientos	76
3.5.1.	Análisis comparativo de eficiencia.....	77
3.5.2.	Análisis energético complementario de los tratamientos.....	78
3.6.	Efectos físicos del laboreo sobre el suelo	82
3.6.1.	Cambios en la densidad aparente y porosidad del suelo.....	82
3.6.2.	Resistencia a la penetración	83
3.6.3.	Humedad gravimétrica y estabilidad estructural	83
3.6.4.	Interpretación general	84
3.7.	Evaluación del comportamiento operativo del equipo de labranza	85
3.7.1.	Capacidad de trabajo y velocidad efectiva.....	85
3.7.2.	Patinaje y estabilidad del régimen del motor	86
3.7.3.	Profundidad efectiva y uniformidad del laboreo	86
3.7.4.	Interpretación general	87
3.8.	Análisis económico detallado de la operación.....	88
3.8.1.	Costo de combustible y lubricantes	88
3.8.2.	Mantenimiento y depreciación del equipo	88

3.8.3.	Costo horario total	89
3.8.4.	Costo por hectárea trabajada	89
3.8.5.	Relación costo–beneficio de cada tratamiento	89
3.8.6.	Análisis interpretativo.....	90
3.9.	Síntesis general y discusión integrada.....	91
3.9.1.	Comportamiento técnico y eficiencia operativa.....	91
3.9.2.	Eficiencia energética y desempeño mecánico	92
3.9.3.	Impacto físico sobre el suelo.....	92
3.9.4.	Evaluación económica integrada.....	93
3.10.	Discusión y consideraciones.....	93
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
4.1.	Conclusiones.....	95
4.2.	Recomendaciones.....	96
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Principales tipos de arado	31
Tabla 2.1 Parámetros físicos y químicos del suelo.....	52
Tabla 2.2 Parámetros de las características técnicas de los equipos utilizados.....	54
Tabla 2.3 Variables técnicas y agrotécnicas evaluadas	64
Tabla 3.1 Promedio de los parámetros técnicos	73
Tabla 3.2 Promedios generales de los parámetros técnicos	74
Tabla 3.3 Tracción y consumo de combustible.....	75
Tabla 3.4 Indicadores de eficiencia energética por tratamiento.....	77
Tabla 3.5 Resumen comparativo del análisis energético de los tratamientos	81
Tabla 3.6 Síntesis de los efectos físicos observados	84
Tabla 3.7 Parámetros en el desempeño operativo de Tractor-implemento-suelo	87
Tabla 3.8 costo horario total.....	89
Tabla 3.9 Costo por hectaria trabajada	89
Tabla 3.10 Relación costo–beneficio de cada tratamiento.....	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 La remoción de tierra con tractor agrícola	26
Figura 1.2 Uso de bueyes para el arado.....	27
Figura 1.3 Uso segadora Ducati Motoazada DTL11000D	28
Figura 1.4 Implementos para motocultor Ducati	34
Figura 1.5 Surcado implemento para motocultor Ducati.....	35
Figura 1.6 Características físicas que tiene un suelo	38
Figura 2.1 Ubicación Satelital del centro experimental	47
Figura 2.2 Ubicación política del proyecto.....	48
Figura 2.3 Ombrotermograma de Ayacucho	49
Figura 2.4 Pruebas preventivas de funcionamiento de la motocultivadora	65
Figura 2.5 Calibración de la motocultivadora y de los implementos	66
Figura 2.6 Registro del tiempo de funcionamiento mediante cronómetro digital.....	67
Figura 3.1 Medición de la profundidad de trabajo del arado.....	70
Figura 3.2 Medición de la fuerza de tracción con dinamómetro digital.....	71
Figura 3.3 Llenado de combustible de la motocultivadora DUCATI DTL 13000	76
Figura 3.4 Medición del consumo de combustible de la motocultivadora	79

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Panel fotográfico.....	105
ANEXO B: Análisis de caracterización.....	111
ANEXO C: Registros de campo y procesamiento de datos técnicos y estadísticos.....	113
ANEXO D: Ficha Técnica motoazada DTL 13000.....	120
ANEXO E: Planos.....	123

RESUMEN

La mecanización agrícola en pequeñas parcelas agrícolas de la sierra del Perú constituye un reto especial, debido a que fundamentalmente se debe mejorar la eficiencia de la labranza primaria y secundaria que hasta la fecha aún se viene realizando con herramientas manuales tradicionales y la tracción animal con arado de palo; donde el laboreo por las condiciones de pendiente, textura del suelo y fragmentación parcelaria limitan el uso de tractores convencionales. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el desempeño operativo, la eficiencia energética y el efecto físico del laboreo de dos modelos de arado; una de vertedera japonés y otro surcador de doble vertedera, acoplados a la motocultivadora DUCATI DTL 13000 para la labranza primaria de un suelo franco arenoso en el Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la región Ayacucho, Perú.

La investigación se desarrolló bajo un diseño completamente al azar con dos tratamientos y tres repeticiones, empleando métodos normalizados de determinación de velocidad de avance, capacidad de campo, consumo horario y específico de combustible, y análisis físico-químico del suelo. Se evaluaron la fuerza de tracción, la eficiencia energética, el consumo de potencia útil y los cambios en la densidad aparente y porosidad del suelo, complementados con un análisis económico de los costos de operación por unidad de superficie.

Los resultados demostraron que el arado de vertedera japonés alcanzó mayor eficiencia energética (12 % superior), menor consumo específico de combustible (1.82 L h^{-1} frente a 2.05 L h^{-1}) y mejor calidad del volteo del suelo, con densidades finales de 1.34 g/cm^3 y porosidad de 49.6 %. Asimismo, presentó un costo total por hectárea de S/. 104.69, inferior al del arado surcador (S/. 127.27).

En conclusión, la combinación del arado de vertedera japonés con la motocultivadora DUCATI DTL 13000 constituye una alternativa técnica y económicamente viable para la labranza primaria en suelos de textura media y humedad óptima de la región Ayacucho, contribuyendo a la eficiencia energética y sostenibilidad de la mecanización agrícola local.

Palabras clave: motocultivadora, arado de vertedera, arado surcador, eficiencia energética, labranza primaria.

ABSTRACT

Agricultural mechanization on small farms in the Peruvian highlands presents a particular challenge, primarily because it requires improving the efficiency of primary and secondary tillage, which to date is still carried out using traditional hand tools and animal traction with stick plows. Tillage conditions such as slope, soil texture, and fragmented plots limit the use of conventional tractors. This study aimed to evaluate the operational performance, energy efficiency, and physical effects of tillage using two plow models: a Japanese moldboard plow and a double-moldboard furrower, both coupled to a DUCATI DTL 13000 two-wheel cultivator for the primary tillage of a sandy loam soil at the Research Program in Pastures and Livestock, Ayacucho region, Peru.

The research was conducted using a completely randomized design with two treatments and three replications, employing standardized methods for determining forward speed, field capacity, hourly and specific fuel consumption, and physicochemical analysis of the soil. Traction force, energy efficiency, useful power consumption, and changes in soil bulk density and porosity were evaluated, complemented by an economic analysis of operating costs per unit area.

The results demonstrated that the Japanese moldboard plow achieved greater energy efficiency (12% higher), lower specific fuel consumption (1.82 L h^{-1} vs. 2.05 L h^{-1}), and better soil turning quality, with final densities of 1.34 g/cm^3 and porosity of 49.6%. Furthermore, it presented a total cost per hectare of S/. 104.69, lower than that of the furrow plow (S/. 127.26).

In conclusion, the combination of the Japanese moldboard plow with the DUCATI DTL 13000 tiller constitutes a technically and economically viable alternative for primary tillage in the medium-textured soils with optimal moisture levels in the Ayacucho region, contributing to the energy efficiency and sustainability of local agricultural mechanization.

Keywords: tiller, moldboard plow, furrow plow, energy efficiency, primary tillage.

INTRODUCCIÓN

La mecanización agrícola representa un pilar fundamental en el incremento de la productividad, la eficiencia energética y la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios. Según la FAO (2021), la mecanización apropiada permite reducir significativamente la demanda de mano de obra, mejorar la calidad de las labores y optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles, especialmente en contextos de agricultura familiar. En este marco, la labranza primaria constituye la fase inicial del proceso de preparación del suelo, cuyo objetivo principal es modificar las condiciones físicas del terreno para favorecer el desarrollo radicular, la aireación y la infiltración de agua. La eficiencia de esta labor depende en gran medida del tipo de implemento de labranza empleado, así como de la adecuada compatibilidad con el equipo motriz que lo acciona (Hunt & Wilson, 2020).

En regiones andinas como Ayacucho, las limitaciones topográficas, la fragmentación de las parcelas y la baja disponibilidad de tractores de mediana potencia condicionan el uso de maquinaria agrícola tradicional. Frente a ello, las motocultivadoras surgen como una alternativa tecnológica de mecanización ligera, económica y adaptable a las condiciones de pequeños productores. Diversos estudios demuestran que la combinación adecuada entre motocultivadora y arado permite mejorar la eficiencia operativa y reducir el consumo energético en comparación con las labores manuales o con implementos de tracción animal (Singh et al., 2019). No obstante, la diversidad de modelos de arados disponibles en el mercado requiere evaluaciones comparativas bajo condiciones locales para determinar su rendimiento técnico y económico.

El presente estudio, titulado “Evaluación de dos modelos de arado con motocultivadora DUCATI DTL 13000 en la labranza primaria de suelos, Ayacucho – 2025”, se enmarca en esta necesidad de adaptación tecnológica. Se plantea comparar el desempeño de un arado de vertedera

japonés y un arado surcador de doble vertedera, ambos accionados por una motocultivadora DUCATI DTL 13000, con el fin de determinar su comportamiento técnico-operativo, eficiencia de trabajo y rentabilidad económica en condiciones de campo reales.

La justificación de esta investigación radica en la necesidad de promover tecnologías de mecanización intermedia que contribuyan al desarrollo agrícola sostenible en zonas rurales de topografía compleja. De acuerdo con Kutzbach (2022), la selección adecuada de implementos de labranza no solo influye en la capacidad operativa y el consumo energético, sino también en la conservación del suelo y la sostenibilidad del sistema productivo. En este sentido, la evaluación comparativa de los dos modelos de arado permitirá identificar el implemento más eficiente y económicamente viable para el uso con motocultivadoras en la labranza primaria, generando información técnica aplicable a futuros programas de innovación y mecanización agrícola en la región en la región Ayacucho.

Objetivo general

Evaluar comparativamente el desempeño técnico, energético y económico del arado de vertedera japonés y del arado surcador de doble vertedera en condiciones de labranza primaria sobre suelos agrícolas del Programa de Pastos.

Objetivos específicos

1. Analizar los parámetros operativos de los arados de vertedera japonés y arado surcador de doble vertedera, considerando velocidad de avance, ancho de labor, profundidad efectiva y capacidad de trabajo.
2. Evaluar el consumo horario y específico de combustible, la potencia útil y la eficiencia energética de ambos equipos durante la operación.

3. Determinar los efectos físicos del laboreo sobre el suelo, con énfasis en la densidad aparente y la resistencia a la penetración, comparando los resultados con implementos manuales y de tracción animal.
4. Estimar los costos operativos y el costo total por hectárea de cada tratamiento, estableciendo la relación costo–beneficio de la mecanización frente a métodos tradicionales

1. CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

1.1.1. *Antecedentes a nivel internacional*

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 $0,69 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$, $14,6 \text{ cm} \pm 1,3 \text{ cm}$ y $1,28 \text{ km/h} \pm 0,06 \text{ km/h}$, respectivamente. El tamaño de los terrones, de $< 2,38 \text{ mm}$ a $9,5 \text{ mm}$, 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 $0,032 \text{ ha/h}$ respectivamente. El consumo de combustible fue de $0,43 \text{ l/h}$ con una profundidad y un ancho de corte de $8,94 \text{ cm}$ y $27,46 \text{ cm}$ 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 $1,13 \text{ kN}$ y $0,43 \text{ kW}$ 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. Antecedentes a nivel nacional

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.

1.1.3. Antecedentes a nivel local

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. Bases teóricas

1.2.1. Mecanización agrícola

La mecanización agrícola puede definirse como el conjunto de técnicas, equipos y procesos que aplican principios de la ingeniería mecánica al trabajo agrícola, con el propósito de aumentar la productividad, reducir el esfuerzo humano y mejorar la calidad de las labores (Hunt & Wilson, 2020). Su implementación constituye un factor determinante en la eficiencia de los sistemas agropecuarios, al influir directamente en el rendimiento del trabajo, el aprovechamiento del tiempo operativo y la sostenibilidad de la producción. Según la FAO (2021), la mecanización debe entenderse no solo como la introducción de maquinaria, sino como un proceso de integración tecnológica adaptado a las condiciones socioeconómicas y agroecológicas de los productores.

En el caso de las pequeñas parcelas, predominantes en las zonas altoandinas de América Latina, la mecanización enfrenta desafíos relacionados con la topografía, el tamaño reducido de los lotes y la limitada capacidad de inversión de los agricultores (Baker et al., 2019). En este contexto, se identifican tres niveles o fuentes de energía utilizadas en las labores agrícolas: energía humana, tracción animal y tracción mecánica, las cuales representan etapas evolutivas en el proceso de mecanización.

1.2.1.1. Mecanización con fuentes de energía humana

La mecanización basada en energía humana corresponde al nivel más básico de tecnificación, en el que el agricultor emplea herramientas manuales como azadones, palas, picos y la chaquitacla y allacchu en el mundo andino para la labranza y otras labores agrícolas. Este tipo de energía, aunque accesible y de bajo costo inicial, presenta limitaciones significativas en términos de productividad, profundidad de trabajo y superficie atendida por unidad de tiempo (Singh & Singh, 2017). Se estima que un trabajador utilizando herramientas manuales puede

preparar entre 150 y 250 m² por jornada, dependiendo de la textura del suelo y la humedad presente (FAO, 2021). Además, el esfuerzo físico prolongado genera fatiga y repercute en la salud del operario, reduciendo la sostenibilidad del trabajo a largo plazo.

Figura 1.1

La remoción de tierra con tractor agrícola



Nota: Tomado AGROPERÚ INFORMA: <https://www.agroperu.pe/junin-agricultura-facilita-maquinaria-agricola-para-apoyar-a-los-agricultores-de-la-selva-central/>.

1.2.1.2. Mecanización con tracción animal

La tracción animal representa una etapa intermedia en el proceso de mecanización, donde se emplean animales de tiro —principalmente bueyes, caballos o mulas— para accionar implementos como arados de manceras, rastras o sembradoras. Este sistema permite ampliar la capacidad de trabajo a entre 0.2 y 0.4 ha/día, dependiendo del tipo de suelo y de la preparación del animal (Kepner et al., 2018). Entre sus ventajas destacan el bajo costo operativo y la posibilidad de empleo en terrenos de difícil acceso, mientras que sus principales desventajas son el bajo rendimiento energético, la necesidad de alimentación y descanso del animal, y la variabilidad del esfuerzo transmitido al implemento (Grisso et al., 2017).

A pesar de estas limitaciones, la tracción animal sigue siendo una alternativa relevante en regiones con limitaciones económicas o donde las pendientes dificultan el acceso de maquinaria motorizada. Sin embargo, el rendimiento energético promedio de un par de animales de tiro oscila entre 0.5 y 1.0 HP útiles, lo que restringe la profundidad y la uniformidad de la labranza (Hunt & Wilson, 2020).

Figura 1.2

Uso de bueyes para el arado



Nota: Tomado de *Uso de tracción animal en sistemas agrícolas en las CPA y CCS (La Palma, Cuba).*

1.2.1.3. Mecanización con tracción mecánica: uso de motocultivadoras

La tracción mecánica mediante motocultivadoras constituye el nivel más avanzado de mecanización ligera, orientado a pequeños productores con parcelas menores de 5 ha. Las motocultivadoras, también conocidas como “power tillers” o “walking tractors”, son máquinas de un solo eje autopropulsadas que pueden accionar diversos implementos agrícolas, tales como arados de vertedera, arados de disco, surcadores, rotocultores y remolques ligeros (Liu et al., 2020).

El uso de motocultivadoras permite mejorar la productividad y eficiencia de la labranza, alcanzando capacidades operativas de 0.2 a 0.6 ha/h, dependiendo del implemento y las

condiciones del suelo (Singh et al., 2019). Además, ofrecen ventajas técnicas como mayor uniformidad en la profundidad de trabajo, mejor volteo del suelo y reducción del tiempo operativo. En términos energéticos, una motocultivadora con motor diésel de 8 a 13 HP puede generar una fuerza de tracción suficiente para labores de labranza primaria en suelos de textura media, con un consumo específico de combustible que oscila entre 0.8 y 1.2 L/h (Kutzbach, 2022).

Figura 1.3

Uso segadora Ducati Motoazada DTL11000D



Nota: Tomado de MAQUITEC DE COLOMBIA: <https://www.youtube.com/watch?v=hxCaeW-sAZM>

Desde el punto de vista socioeconómico, la mecanización ligera mediante motocultivadoras se ha convertido en una solución tecnológica viable para la agricultura familiar en regiones de topografía accidentada. Permite reducir la dependencia de la tracción animal, incrementar la superficie trabajada y mejorar la oportunidad de siembra, lo cual impacta positivamente en los rendimientos de los cultivos y en la calidad del trabajo agrícola (FAO, 2021).

De esta manera, la mecanización progresiva desde la energía humana hasta la tracción mecánica refleja una transición tecnológica que busca equilibrar la eficiencia operativa con la sostenibilidad económica y ambiental. En este sentido, la adecuada selección y evaluación de

implementos acoplados a motocultivadoras, como los arados de vertedera o surcadores, resulta esencial para optimizar la productividad de las labores agrícolas en pequeñas parcelas.

1.2.2. Motocultivadoras y su aplicación en la labranza

Las motocultivadoras o motocultores son equipos de tracción mecánica ligera diseñados para realizar labores agrícolas mediante la transmisión de potencia a través de un eje motriz. Constituyen una alternativa tecnológica intermedia entre la tracción animal y los tractores de cuatro ruedas, siendo ampliamente utilizadas en la agricultura de pequeña y mediana escala (FAO, 2021). Su versatilidad, bajo consumo energético y adaptabilidad a terrenos con topografía irregular las convierten en una herramienta clave para la mecanización sostenible en regiones rurales (Kutzbach, 2022).

En la labranza primaria, las motocultivadoras permiten remover y airear el suelo, favoreciendo la infiltración de agua, el control de malezas y la incorporación de materia orgánica. El acople de diferentes tipos de arados o implementos posibilita ajustar el tipo de trabajo al objetivo agronómico y a las características físicas del suelo (Singh et al., 2019). En términos energéticos, su relación potencia–peso es suficiente para generar una fuerza de tracción adecuada en labores superficiales y de profundidad media, con eficiencias de trabajo que pueden alcanzar hasta el 80 % en condiciones adecuadas (Hunt & Wilson, 2020).

1.2.2.1. Clasificación de las motocultivadoras

La gran diversidad de motocultivadoras disponibles en el mercado permite clasificarlas según su potencia, tipo de combustible y aplicación funcional.

1.2.2.1.1. Según la potencia del motor:

- a. **Motocultivadoras ligeras (hasta 7 HP):** adecuadas para labores de huerto, hortalizas o suelos blandos; presentan bajo peso (30–70 kg) y fácil maniobrabilidad, aunque con limitada capacidad de tracción.
- b. **Motocultivadoras medianas (7–12 HP):** utilizadas para labores de labranza primaria en parcelas de hasta 5 ha; permiten el acople de arados de vertedera, discos o surcadores; su peso varía entre 80 y 150 kg.
- c. **Motocultivadoras pesadas (más de 12 HP):** diseñadas para suelos más compactos y labores de profundidad; pueden accionar implementos más robustos e incluso remolques ligeros; presentan mejor estabilidad y tracción, aunque menor maniobrabilidad (Liu et al., 2020).

1.2.2.1.2. Según el tipo de combustible

- a. **Gasolina:** motores de menor peso y costo inicial, con arranque rápido y fácil mantenimiento, aunque menor torque disponible; ideales para suelos livianos y superficies pequeñas.
- b. **Diésel:** motores más potentes, duraderos y eficientes en consumo; adecuados para labores exigentes en suelos de textura media a pesada; presentan mayor costo inicial y nivel de vibración.
- c. **Eléctricas o híbridas (emergentes):** emplean baterías recargables o sistemas mixtos; reducen emisiones contaminantes y ruido, pero tienen limitada autonomía y potencia útil (FAO, 2021).

1.2.2.2. Aperos de labranza primaria para motocultivadoras

Las motocultivadoras pueden accionar diversos aperos de labranza primaria, cada uno con características constructivas, funciones específicas y requerimientos energéticos distintos. A continuación, se describen los principales tipos empleados en campo:

Tabla 1.1

Principales tipos de arado

Tipo de arado	Descripción general	Ventajas	Desventajas
Arado de vertedera	Implemento que corta, levanta y voltea el suelo en una franja uniforme mediante una vertedera helicoidal.	Buena inversión del suelo y entierro de residuos; produce superficie nivelada; adecuado para suelos medianamente húmedos.	Elevado requerimiento de tracción; no apto para suelos muy duros o pedregosos; puede causar compactación en fondo de surco.
Arado de discos	Utiliza discos cóncavos para cortar y voltear el suelo con menor fricción.	Menor resistencia al tiro; mejor desempeño en suelos con residuos o humedad variable.	Menor volteo del suelo; requiere mantenimiento frecuente por desgaste de discos.
Arado cincel	Posee brazos rígidos con puntas que penetran y fracturan el suelo sin voltearlo.	Conserva la estructura del suelo; reduce erosión y consumo energético; útil para labranza de conservación.	No incorpora residuos; limitado en control de malezas; profundidad variable según dureza del terreno.
Arado surcador	Implemento con alas simétricas que forman surcos o camellones; se usa para aporque o drenaje.	Menor resistencia al tiro; versátil para diferentes cultivos; adecuado para labores de pre-siembra.	No voltea completamente el suelo; menor capacidad de desmenuzamiento; limitado para labores profundas.

Arado rotativo o rotocultor	Utiliza cuchillas giratorias accionadas por la toma de fuerza para fragmentar y airear el suelo.	Alta eficiencia de trituración y mezcla; ideal para suelos arcillosos o húmedos; reduce número de pasadas.	Alto consumo de combustible; puede pulverizar en exceso el suelo y afectar su estructura.
------------------------------------	--	--	---

Nota: Adaptado de *Hunt & Wilson, 2020; Grisso et al., 2017; Kutzbach, 2022.*

1.2.2.3. Fundamentos del uso de motocultivadoras en la labranza primaria

El desempeño de la motocultivadora en la labranza primaria depende de la relación entre su potencia disponible, el peso adherente, la profundidad de trabajo y la resistencia del suelo. Según Kepner et al. (2018), el esfuerzo de tracción requerido para el trabajo de un arado varía proporcionalmente con el ancho y la profundidad de labor, así como con el tipo de implemento utilizado. En consecuencia, la selección del apero adecuado debe considerar no solo el tipo de suelo, sino también la potencia efectiva del motor y el estado de humedad durante la operación.

Diversos estudios han demostrado que el uso de motocultivadoras en labranza primaria puede reducir los costos de operación en más de un 40 % y aumentar la capacidad de trabajo en comparación con la tracción animal (Singh & Singh, 2017). Además, su facilidad de transporte, mantenimiento y adaptabilidad a diferentes aperos las convierten en una solución tecnológica eficaz para promover la mecanización sostenible en pequeños sistemas productivos.

En síntesis, las motocultivadoras constituyen un medio versátil y eficiente para la preparación del suelo en pequeñas parcelas agrícolas. Su correcta selección y la elección del implemento de labranza adecuado permiten alcanzar una combinación óptima entre rendimiento energético, eficiencia de campo y calidad del laboreo, aspectos esenciales en la ingeniería mecánica agrícola orientada al desarrollo rural sostenible.

1.2.3. Motocultivadora DUCATI DTL 13000

La motocultivadora DUCATI DTL 13000 es un equipo de tracción autopropulsada diseñado para labores de labranza primaria y secundaria en unidades productivas de mediana y pequeña escala. Posee un motor a combustión interna diésel, monocilíndrico, de 13 HP de potencia nominal a 3 600 rpm, con sistema de arranque manual y refrigeración por aire forzado. Su estructura robusta y compacta permite un adecuado equilibrio entre potencia y maniobrabilidad, características esenciales para operaciones en terrenos con topografía irregular o de difícil acceso.

El sistema de transmisión es mecánico por engranajes en baño de aceite, con tres velocidades hacia adelante y una en retroceso, lo que facilita la adaptación de la velocidad de avance a diferentes condiciones de suelo y tipo de apero. La toma de fuerza (TDF) independiente se encuentra sincronizada con la transmisión, permitiendo el accionamiento de implementos rotativos o de arrastre.

Las ruedas metálicas tipo jaula se emplean para labores de arado en suelos de textura arcillosa, proporcionando mayor adherencia y reduciendo el deslizamiento. El peso operativo total del conjunto (sin implemento) es de aproximadamente 140 kg, lo que confiere una presión sobre el suelo inferior a 80 kPa, adecuada para minimizar la compactación superficial.

De acuerdo con Ortiz et al. (2019), la eficiencia de tracción de este tipo de motocultivadoras en suelos con humedad óptima oscila entre 65 y 75 %, siendo un valor apropiado para labores de volteo y surcado en condiciones andinas.

1.2.3.1. Arado de vertedera japonés

El arado de vertedera japonés es un implemento de labranza primaria de una sola vertedera helicoidal, diseñado para voltear y enterrar los residuos vegetales mediante el volteo completo del

pan de tierra. Su estructura se compone de reja, vertedera, talón y timón de ajuste, fabricados en acero templado para resistir la abrasión y el impacto con elementos duros del suelo.

El ángulo de ataque y la curvatura de la vertedera están optimizados para lograr una profundidad de trabajo promedio de 15 a 20 cm, lo cual garantiza una adecuada aireación y renovación del perfil arable. Este tipo de arado presenta una demanda de potencia específica de 0.35 a 0.45 HP por cm de ancho de labor, dependiendo de la textura y humedad del suelo (Gonzales & Shibusawa, 2020).

Su acople a la motocultivadora se realiza mediante un enganche tipo barra de tiro regulable, lo que permite ajustar el ángulo de penetración y la alineación del implemento. En suelos franco-arenosos, como los de la zona experimental, el arado japonés presenta una eficiencia energética superior, debido a su menor resistencia pasiva y mejor volteo del terreno.

Figura 1.4

Implementos para motocultor Ducati



Nota: Tomado de JARDEPOT: <https://surl.li/afnsqf>.

1.2.3.2. Arado surcador de doble vertedera

El arado surcador de doble vertedera está diseñado para abrir surcos paralelos o conformar camellones con una sola pasada. Su estructura presenta dos vertederas opuestas con alas simétricas, unidas a un bastidor central que permite el ajuste del ancho de labor (entre 30 y 50 cm) y la profundidad (10 a 18 cm). El diseño de doble vertedera favorece una distribución equilibrada de las fuerzas de tracción, reduciendo el esfuerzo lateral sobre el operador y sobre la barra de tiro.

Sin embargo, requiere una potencia mayor respecto al arado japonés, situándose entre 0.45 y 0.55 HP por cm de ancho efectivo en suelos de textura media y humedad óptima.

Este implemento resulta especialmente útil para labores de surcado previo a la siembra de cultivos en hileras como maíz, papa o menestras, donde se busca una preparación uniforme y control del flujo de agua en riego o drenaje. Su uso en conjunto con la motocultivadora DUCATI DTL 13000 permite alcanzar una velocidad de avance promedio de 2.5 a 3.0 km·h⁻¹, manteniendo una tracción eficiente sin pérdida significativa de adherencia.

Figura 1.5

Surcado implemento para motocultor Ducati



Nota: Tomado de JARDEPOT: <https://surl.li/afnsqf>.

1.2.4. Características técnicas y fundamentos de la labranza primaria

La labranza primaria constituye una de las etapas más determinantes dentro del proceso de preparación del suelo, pues tiene como propósito fundamental modificar las condiciones físicas del terreno para favorecer el desarrollo radicular y el establecimiento del cultivo. De acuerdo con Kepner, Bainer y Barger (1990), la labranza primaria se define como la operación mecánica que corta, remueve, voltea y fragmenta las capas del suelo con el fin de airearlo, mejorar su infiltración y crear un medio adecuado para la germinación y el crecimiento de las plantas. Su ejecución debe considerar la naturaleza del suelo, el régimen de humedad, las condiciones climáticas locales y la disponibilidad de potencia mecánica.

1.2.4.1. Objetivos y fines de la labranza primaria

Los principales objetivos de la labranza primaria son:

- a. Aflojar y voltear el suelo para reducir su densidad aparente, mejorando la porosidad y la aireación.
- b. Incorporar residuos vegetales y materia orgánica, contribuyendo a la fertilidad natural del suelo.
- c. Controlar malezas y plagas del suelo mediante la exposición de raíces, rizomas o larvas a la superficie.
- d. Facilitar el drenaje superficial y la infiltración del agua en el perfil del suelo.
- e. Crear una base uniforme y suelta para operaciones subsecuentes como la labranza secundaria, la siembra o el trasplante.

La efectividad de la labranza depende no solo del tipo de implemento utilizado, sino también de la energía aplicada y las condiciones físico-mecánicas del suelo al momento de la operación.

1.2.4.2. Aspectos físico-mecánicos del suelo en la labranza

Desde un punto de vista ingenieril, el suelo puede considerarse un medio granular cohesivo cuya respuesta a las fuerzas mecánicas está condicionada por sus propiedades físicas y estructurales. Entre los parámetros más relevantes se encuentran:

- a. **Textura del suelo:** La proporción de partículas de arena, limo y arcilla determina la resistencia a la penetración y el tipo de implemento más adecuado. Los suelos arcillosos requieren mayor potencia y aperos que generen un volteo profundo, mientras que los suelos arenosos se benefician de labores ligeras para evitar la pérdida de humedad.
- b. **Densidad aparente y compactación:** Un valor elevado de densidad aparente ($>1,6 \text{ g/cm}^3$) indica compactación, lo que dificulta la aireación y el desarrollo radicular. El uso de arados de vertedera o cincel puede reducir la compactación al romper las capas endurecidas.
- c. **Contenido de humedad:** Según la FAO (2019), el rango óptimo de humedad para la labranza se encuentra entre el 60 % y 80 % de la capacidad de campo, punto en el cual el suelo ofrece menor resistencia al corte sin adherirse excesivamente a las superficies del implemento.
- d. **Cohesión y ángulo de fricción interna:** Estos parámetros, definidos por la mecánica de suelos agrícola, determinan la energía requerida para el corte y el tipo de herramienta que maximiza la eficiencia del trabajo (Lal & Stewart, 2015).

Figura 1.6

Características físicas que tiene un suelo



Nota: Tomado de *INTI FERTILIZANTES*: <https://inti.pe/conoce-las-4-caracteristicas-fisicas-que-tiene-un-suelo/>.

1.2.4.3. Adaptación de los aperos bajo diferentes condiciones

La elección del apero de labranza y su ajuste operativo depende de la interacción entre las características del suelo, el tipo de cultivo y las condiciones climáticas. Los principales criterios de adaptación se sintetizan a continuación:

- a. **Arado de vertedera:** Adecuado para suelos de textura media a arcillosa, con buena humedad y contenido moderado de residuos. Es ideal en la preparación de suelos destinados a cultivos de raíces profundas (papa, maíz, quinua). Sin embargo, su uso reiterado puede provocar erosión en suelos con pendiente superior al 12 % (Callejas et al., 2017).

- b. **Arado de discos:** Presenta buen desempeño en suelos duros, pedregosos o con residuos abundantes, debido a su capacidad de rodar y cortar. Es preferido en cultivos extensivos como cereales o forrajes. En climas húmedos, su operación es más estable que la del arado de vertedera, aunque produce menor volteo.
- c. **Arado cincel:** Ideal para suelos compactados o con problemas de drenaje, donde se busca mejorar la aireación sin alterar la estructura natural del suelo. Investigaciones de Botta et al. (2019) demostraron que el uso de arado cincel puede reducir la densidad aparente hasta en un 15 %, mejorando el rendimiento de cultivos de maíz y soya.
- d. **Arado surcador:** Utilizado principalmente para el trazado de surcos de siembra o drenaje, adaptable a diversos tipos de suelo siempre que la profundidad de trabajo sea limitada. Su aplicación es frecuente en hortalizas o cultivos de raíz corta.
- e. **Arado rotativo:** Ofrece una alta calidad de preparación del terreno en una sola pasada, siendo efectivo en suelos ligeros y medianamente compactos. Sin embargo, su acción intensiva puede pulverizar excesivamente el suelo, favoreciendo la erosión y la pérdida de humedad en ambientes áridos (López & Pimentel, 2020).

1.2.4.4. Influencia de las condiciones climáticas

Las condiciones climáticas, especialmente la humedad y la temperatura, determinan el momento oportuno y la intensidad del laboreo. En zonas altoandinas, la variabilidad de lluvias y la alternancia de temperaturas extremas condicionan la disponibilidad de humedad adecuada para la labranza. Según García y Morales (2021), el trabajo con suelos muy secos aumenta el desgaste de los implementos y el consumo energético, mientras que el laboreo en suelos saturados reduce la eficiencia y provoca compactación secundaria.

En consecuencia, la selección del tipo de arado y el ajuste de parámetros operativos — como la profundidad de trabajo, la velocidad de avance y el ángulo de ataque— deben realizarse con base en la evaluación física del suelo y las condiciones meteorológicas locales. La aplicación de estos criterios técnicos permite optimizar la eficiencia de la labranza primaria, reducir los costos de operación y conservar la estructura del suelo, contribuyendo a una mecanización sostenible y adaptada a los sistemas agrícolas andinos.

1.2.5. Parámetros técnicos y agrotécnicos

Los parámetros técnicos y agrotécnicos son fundamentales para la evaluación del desempeño de los equipos agrícolas y la optimización de las labores de campo. Estos parámetros permiten cuantificar la eficiencia operativa y energética de las máquinas, considerando las condiciones del suelo, el tipo de cultivo y el sistema de tracción disponible. A continuación, se describen los principales parámetros utilizados en la mecanización agrícola.

1.2.5.1. Velocidad de avance

La velocidad de avance (V_a) corresponde a la rapidez con la que el equipo agrícola se desplaza durante la labor. Se expresa generalmente en kilómetros por hora ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) y depende de la potencia del tractor, las condiciones del terreno y el tipo de implemento. Una velocidad de avance excesiva puede reducir la calidad del trabajo, mientras que una velocidad muy baja disminuye la productividad. En labores de preparación de suelo, las velocidades óptimas oscilan entre 3 y 7 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, dependiendo de la textura y humedad del suelo (Srivastava et al., 2006).

1.2.5.2. Profundidad de trabajo

La profundidad de trabajo (P_t) se define como la distancia vertical desde la superficie del terreno hasta el punto más profundo alcanzado por el órgano de trabajo del implemento. Este parámetro está directamente relacionado con el tipo de labor (arado, escarificado o desmalezado)

y con las características físicas del suelo, como su densidad aparente, textura y contenido de humedad. En suelos livianos y bien estructurados, puede alcanzarse una profundidad uniforme con menor demanda de potencia; mientras que en suelos arcillosos y compactos se requiere mayor esfuerzo de tracción (Hunt, 2016).

1.2.5.3. Capacidad teórica de campo

La capacidad teórica de campo (CTC) expresa la superficie que podría cubrirse en una hora de trabajo continuo y sin pérdidas, considerando el ancho efectivo de labor y la velocidad de avance. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$CTC = (A \times Va) / 10 \quad (1.1)$$

donde:

CTC = capacidad teórica de campo ($ha \cdot h^{-1}$)

A = ancho de trabajo (m)

Va = velocidad de avance ($km \cdot h^{-1}$)

Este parámetro representa el rendimiento máximo ideal del implemento, sin considerar pérdidas por maniobras o interrupciones (Kepner et al., 1987).

1.2.5.4. Eficiencia de campo

La eficiencia de campo (EfC) indica el grado de aprovechamiento real del tiempo operativo respecto al teórico. Se expresa como porcentaje y se calcula dividiendo la capacidad efectiva entre la capacidad teórica de campo. Refleja las pérdidas por giro, superposición, ajustes, atascos y tiempos muertos. Para labores de labranza primaria, la eficiencia suele situarse entre 70 y 85 %, y para labores secundarias, entre 80 y 90 % (ASABE, 2020).

$$EfC = (CEC / CTC) \times 100 \quad (1.2)$$

1.2.5.5. Capacidad efectiva de campo

La capacidad efectiva de campo (CEC) es la superficie realmente trabajada por hora, considerando todas las pérdidas operativas. Este valor es crucial para la planificación del trabajo agrícola, ya que permite estimar el tiempo necesario para cubrir una determinada área bajo condiciones reales de campo. Se expresa en hectáreas por hora ($\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}$) y se obtiene multiplicando la capacidad teórica por la eficiencia de campo.

$$\text{CEC} = \text{CTC} \times (\text{EfC} / 100) \quad (1.3)$$

1.2.5.6. Potencia requerida

La potencia requerida (P_r) representa la energía necesaria para vencer la resistencia al avance del implemento durante la labor. Está influenciada por factores como la textura y humedad del suelo, profundidad y ancho de trabajo, velocidad de avance y tipo de herramienta. En términos generales, la potencia total puede dividirse en tres componentes: potencia de tracción, potencia de accionamiento y pérdidas mecánicas. La potencia de tracción puede estimarse mediante:

$$P_r = (R_t \times V_a) / 3.6 \quad (1.4)$$

donde:

P_r = potencia requerida (kW)

R_t = resistencia total al tiro (N)

V_a = velocidad de avance ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)

El conocimiento preciso de este parámetro permite una selección adecuada del tractor, evitando tanto el sobredimensionamiento como la subpotencia (Hunt, 2016).

La evaluación técnico-operativa de los aperos de labranza acoplados a motocultivadoras requiere el análisis de parámetros que describen el comportamiento del sistema suelo–herramienta–máquina. Estos parámetros permiten cuantificar la capacidad de trabajo, la eficiencia energética, el consumo de combustible y la potencia requerida para efectuar la labor de manera

óptima. Según Kepner, Bainer y Barger (1990), los parámetros técnicos y agrotécnicos constituyen indicadores fundamentales para estimar el rendimiento mecánico y económico de las operaciones de labranza en campo.

1.2.6. Adaptación de los aperos a las condiciones de suelo, cultivo y clima

La correcta adaptación de los aperos agrícolas a las condiciones edafoclimáticas y biológicas del entorno es un factor determinante para garantizar la eficiencia de las labores de labranza y la sostenibilidad del sistema productivo. El diseño, el tipo de órgano de trabajo y los parámetros operativos del implemento deben ajustarse a las características del suelo (textura, estructura, densidad aparente y contenido de humedad), así como al tipo de cultivo y su sistema radicular (Godwin & Spoor, 2003).

En suelos de textura media, característicos de la región Ayacucho, la elección del apero debe priorizar la preservación de la estructura del suelo y el control de la erosión, evitando la pulverización excesiva y favoreciendo la infiltración de agua. En estas condiciones, los arados de disco y los cinceles presentan ventajas técnicas, ya que operan eficientemente con moderado consumo de potencia y una adecuada remoción sin invertir completamente el horizonte superficial.

El contenido de humedad del suelo influye directamente en la resistencia a la tracción y en la energía requerida para la operación. Trabajar en condiciones próximas al 70 % de la capacidad de campo reduce la potencia demandada y evita tanto la compactación como el desgaste prematuro de los órganos de trabajo. Asimismo, las condiciones climáticas semiáridas, con marcada estacionalidad de lluvias, obligan a planificar la labranza durante el periodo húmedo, seleccionando implementos de alta durabilidad y con protección anticorrosiva.

En la elección del apero también se deben considerar aspectos agrotécnicos del cultivo, como el tipo de raíz (pivotante o fasciculada), el desarrollo radicular y los requerimientos de

aireación y drenaje. Por ejemplo, cultivos de raíces profundas como el maíz o la quinua requieren labores más intensivas que los de raíces superficiales como la papa o las menestras. La compatibilidad entre apero, suelo y cultivo garantiza una labranza eficiente, con menor consumo energético y mayor rendimiento agronómico (McKyes, 1985; Kepner et al., 1987).

1.2.7. Eficiencia energética y análisis económico

La eficiencia energética y el análisis económico de la labranza con motocultivadoras constituyen aspectos esenciales en la evaluación integral de los sistemas de mecanización agrícola a pequeña escala. En el contexto de la agricultura familiar y de subsistencia, las motocultivadoras representan una alternativa viable por su bajo costo de adquisición, facilidad de operación y mantenimiento, y capacidad de adaptación a parcelas de dimensiones reducidas. No obstante, su desempeño técnico y económico depende directamente de la eficiencia en el uso de la energía y de los costos asociados a la operación (Hunt, 2016).

1.2.7.1. Fundamento teórico de la eficiencia energética

La eficiencia energética en labores de labranza se define como la relación entre la energía útil empleada en el trabajo efectivo sobre el suelo y la energía total consumida por el sistema motriz. En el caso de las motocultivadoras, la fuente de energía principal es el motor de combustión interna, cuyo rendimiento depende de la potencia entregada, el consumo de combustible y las pérdidas mecánicas. La evaluación energética permite identificar oportunidades de ahorro, optimizar la operación y reducir las emisiones contaminantes (Srivastava et al., 2006).

1.2.7.2. Indicadores técnicos de eficiencia energética

Entre los principales indicadores empleados para evaluar la eficiencia energética se incluyen:

- Consumo específico de energía (CEE): representa la cantidad de energía necesaria para labrar una unidad de superficie ($\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$). Se calcula considerando el consumo horario de combustible, el poder calorífico del mismo y la capacidad efectiva de campo.
- Potencia útil en el eje (Pu): corresponde a la energía efectiva entregada por el motor a los órganos de trabajo del implemento. Depende de la velocidad de avance, profundidad de trabajo y resistencia del suelo.
- Rendimiento operativo (Re): expresa la relación entre la superficie realmente trabajada y el tiempo total de operación, incluyendo maniobras y pérdidas por ineficiencia. Este valor se vincula directamente con la eficiencia de campo y la organización del trabajo (ASABE, 2020).

1.2.7.3. Análisis económico de la labranza

El análisis económico tiene como objetivo determinar la rentabilidad de la operación de labranza con motocultivadoras, considerando los costos fijos y variables del sistema. Los costos fijos incluyen la depreciación, intereses, seguros y alojamiento, mientras que los costos variables comprenden combustible, lubricantes, mano de obra, mantenimiento y reparaciones. La suma de ambos permite estimar el costo horario de operación (C_h), que se expresa en unidades monetarias por hora.

Para determinar el costo por hectárea (C_{ha}), se divide el costo horario entre la capacidad efectiva de campo (CEC):

$$C_{ha} = C_h / \text{CEC} \quad (1.5)$$

Este indicador refleja el gasto económico necesario para realizar la labor en condiciones reales de trabajo y es fundamental para comparar la rentabilidad de distintos equipos o métodos de labranza (Kepner et al., 1987).

La evaluación conjunta de la eficiencia energética y el análisis económico permite seleccionar y operar las motocultivadoras de manera óptima, garantizando un equilibrio entre productividad, consumo de energía y costo operativo. Este enfoque resulta clave para fortalecer la sostenibilidad de la mecanización agrícola en sistemas de pequeña escala.

2. CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Aspectos generales del proyecto

2.1.1. Ubicación

a. Ubicación geográfica

La ubicación geográfica del área de estudio está ubicada en las coordenadas UTM WGS 84, zona 18L:

- Este : 584544.86 m
- Norte : 8545450.82 m
- Altitud : 2751 m.s.n.m

Figura 2.1

Ubicación Satelital del centro experimental



Nota: tomado de Google earth.

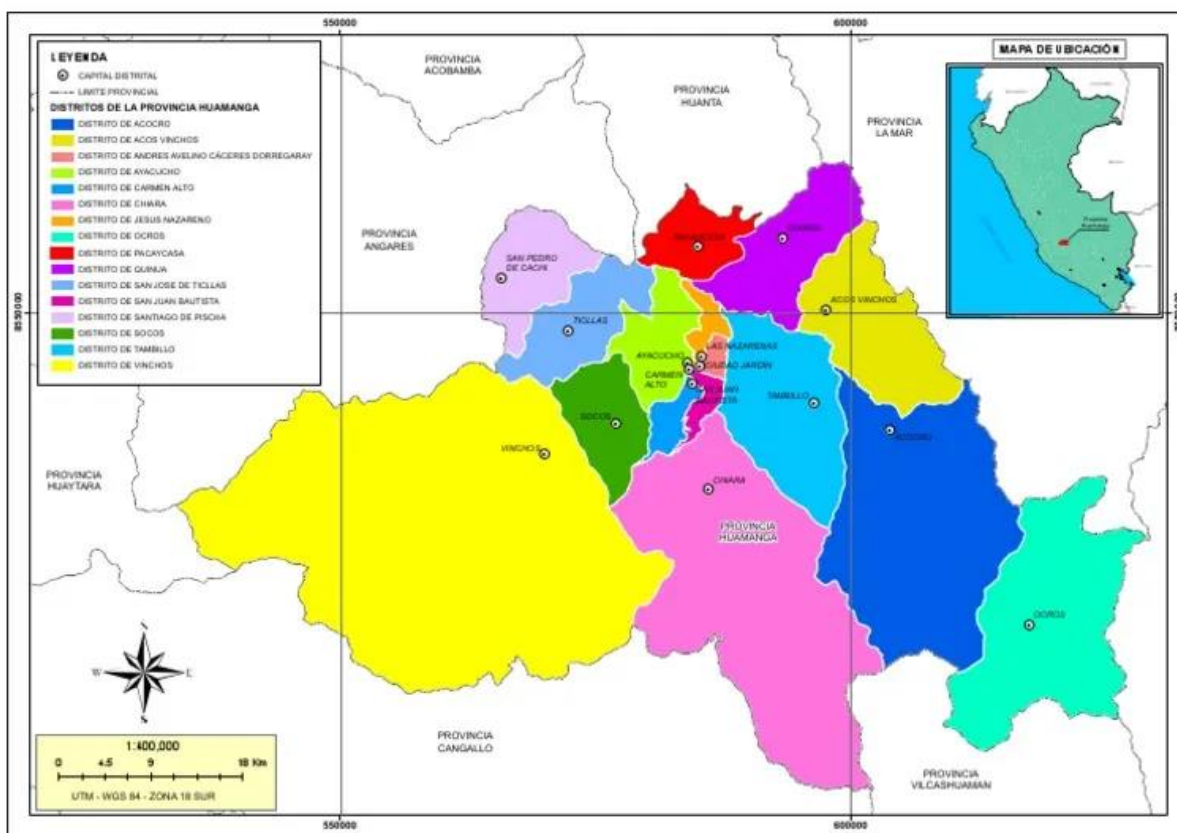
b. Ubicación política

- Departamento : Ayacucho
- Provincia : Huamanga

- Distrito : Ayacucho
- Lugar : Programa de Investigación en Pastos y Ganadería

Figura 2.2

Ubicación política del proyecto



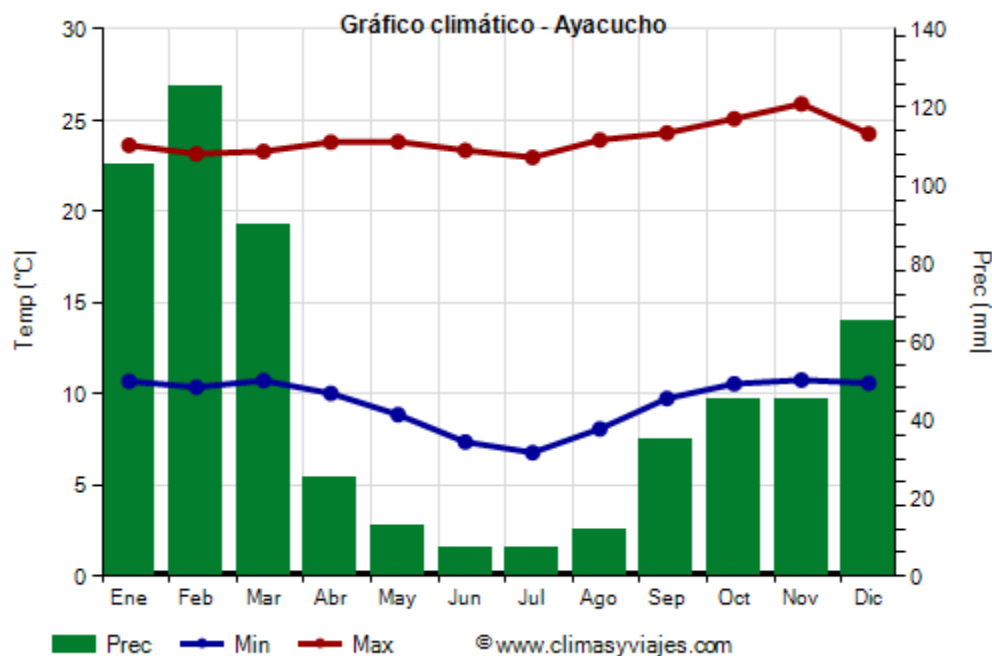
2.1.2. Clima

El experimento se desarrolló en el Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, ubicado en el distrito y provincia de Ayacucho, departamento de Ayacucho, a una altitud promedio de 2750 m s.n.m. La zona presenta un clima templado subhúmedo de montaña, característico de los valles interandinos del sur del Perú, con marcada estacionalidad entre periodos lluviosos y secos.

Según registros del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2024), la temperatura media anual en la zona es de 16,7 °C, con valores mínimos cercanos a 6,8 °C durante los meses de junio y julio, y máximos de hasta 23,6 °C en agosto. La precipitación media anual alcanza los 575 mm, concentrándose el 85 % de las lluvias entre los meses de diciembre a marzo, mientras que el periodo seco se extiende de mayo a septiembre, con notoria deficiencia hídrica.

Figura 2.3

Ombrotermograma de Ayacucho



Nota: La figura muestra Ombrotermograma de Ayacucho (Huamanga, 2750 m.s.n.m. – Periodo 1991-2024 (SENAMHI) tomado de SENAMHI, Normales Climáticas 1991-2024.

La humedad relativa promedio es del orden del 67 %, y la radiación solar global alcanza valores anuales de 7,5 kWh m⁻² día⁻¹, lo que favorece una adecuada actividad fotosintética para

cultivos de ciclo corto y especies forrajeras de adaptación andina. Los vientos predominantes provienen del noreste, con velocidades medias de $1,8 \text{ m s}^{-1}$, sin efectos erosivos significativos.

Ecológicamente, el área se ubica dentro de la región quechua (según la clasificación de Pulgar Vidal, 1981), correspondiente a pisos ecológicos intermedios, donde predominan formaciones de pastos naturales, gramíneas andinas y pequeños cultivos agrícolas. Esta región presenta suelos de tipo calcáreo francoarenoso, con baja materia orgánica (0,8 %), pH moderadamente alcalino (8,34) y una moderada capacidad de retención de humedad, condiciones que influyen directamente en la eficiencia de tracción y profundidad de laboreo durante las operaciones de labranza primaria.

Estas condiciones climáticas y edáficas hacen del área un entorno representativo para la evaluación de la eficiencia de arados accionados por la motocultivadora DUCATI 13000, en particular bajo las condiciones típicas de mecanización agrícola en zonas altoandinas.

2.1.3. Antecedentes del lugar experimental

La parte de experimental de los ensayos de campo de la motocultivadora DUCATI 13000, con los arados de vertedera Japones y arado surcador de doble vertedera realizó primero la calibración y ajustes finales, en el Laboratorio de Maquinaria agrícola y Mecánica general de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola y la parte de las pruebas de campo en la labranza primaria de suelos se ejecutó en el Programa de Investigación en Pastos y Ganadería que era una parcela, donde en la campaña anterior se había sembrado maíz; ubicado geográficamente a 584,544.86 m E y 8545,450.82 m S, a una altitud de 2751 m.s.n.m., en el distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho.

2.1.4. Características físicas y químicas de la parcela experimental.

El análisis de caracterización del suelo se realizó sobre una muestra compuesta obtenida de la capa arable (0–20 cm) en la parcela del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, Ayacucho. Los resultados indican que el suelo presenta una textura francoarenosa, con predominio de arena fina (60 %), limo (25 %) y arcilla (15 %). Esta composición confiere buena aireación y drenaje, propiedades que facilitan la operación de labranza con motocultivadora y reducen la compactación superficial, aunque también pueden limitar la retención de humedad en periodos secos (McKyes, 1985).

La densidad aparente promedio fue de 1.38 g cm^{-3} , valor que refleja un suelo de estructura granular suelta, favorable para el crecimiento radicular y la infiltración de agua. El contenido de humedad gravimétrica en condiciones de campo fue de 18 %, situándose dentro del rango óptimo de labranza para suelos de esta textura, lo cual evita la formación de terrones y mejora la eficiencia del volteo del suelo durante la labranza (ASABE, 2020).

Desde el punto de vista químico, el suelo presenta un pH moderadamente alcalino (8.34) y un contenido de materia orgánica de 0.8 %, lo que sugiere una fertilidad baja a media.

Aunque el valor de pH favorece la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes, el bajo contenido de materia orgánica limita la capacidad de intercambio catiónico y la retención de agua, por lo que se recomienda la incorporación de abonos orgánicos o el manejo de coberturas vegetales para mejorar la estructura y estabilidad de agregados.

En conjunto, las características físicas del suelo lo clasifican como moderadamente apto para cultivos andinos de raíces y cereales (papa, cebada, quinua, maíz), siempre que se mantenga un adecuado manejo de humedad y se minimice el tráfico excesivo de maquinaria que podría inducir compactación subsuperficial.

Tabla 2.1*Parámetros físicos y químicos del suelo*

Parámetro	Unidad	Valor promedio	Clasificación / Interpretación	Método de análisis
Textura	—	Franco arenosa	Buen drenaje y aireación	Método de Bouyoucos (hidrómetro)
Densidad aparente	g cm ⁻³	1.38	Moderadamente suelta	Método del cilindro de volumen conocido (Blake & Hartge, 1986)
Humedad gravimétrica	%	18.0	Óptima para labranza	Secado en estufa a 105 °C (Gravimétrico)
Porosidad total	%	48.0	Alta	Cálculo a partir de densidad aparente y real
pH (1:2.5 en H₂O)	—	8.34	Ligeramente alcalino	Potenciométrico (electrodo de vidrio)
Conductividad eléctrica (CE)	dS m ⁻¹	1.06	No salino	Conductímetro (extracto de saturación)
Materia orgánica (MO)	%	2.87	Media	Oxidación húmeda (Walkley & Black, 1934)
Nitrógeno total (N)	%	0.14	Bajo	Método Kjeldahl (AOAC, 1990)
Fósforo disponible (P)	mg kg ⁻¹	5.2	Medio	Método Olsen (NaHCO ₃ 0.5 M, pH 8.5)
Potasio intercambiable (K)	cmol(+) kg ⁻¹	196.4	Medio	Extracción con acetato de amonio (1 N, pH 7.0)
Calcio (Ca)	cmol(+) kg ⁻¹	8.52	Alto	Extracción con acetato de amonio
Magnesio (Mg)	cmol(+) kg ⁻¹	1.24	Medio	Extracción con acetato de amonio
Sodio (Na)	cmol(+) kg ⁻¹	0.82	Bajo	Extracción con acetato de amonio
Hierro (Fe)	mg kg ⁻¹	32.0	Adecuado	DTPA (ácido dietilentriaminopentaacético)
Zinc (Zn)	mg kg ⁻¹	1.2	Ligeramente deficiente	DTPA
Manganeso (Mn)	mg kg ⁻¹	12.5	Adecuado	DTPA
Cobre (Cu)	mg kg ⁻¹	1.6	Adecuado	DTPA

Nota: La tabla muestra Parámetros físicos y químicos del suelo de la parcela experimental – Ayacucho 2025, en base al análisis del *Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar – PIPG (2025)*.

2.2. Materiales y equipos

2.2.1. Gabinete

- Papel Bond
- Laptop
- Impresora

Software

- AutoCAD 2020
- Microsoft Word
- Microsoft Excel

2.2.2. Equipos de campo

- Motocultivadora DUCATI DTL 13000
- Arado de vertedera japonés
- Arado surcador de doble vertedera

Instrumentos de medición

- Dinamómetro, para la medición de la fuerza de tiro.
- Cronómetro, para registrar el tiempo de operación.
- Balanza, para determinación de humedad del suelo.
- Flexómetro de 5 m.
- Wincha de 50 m.

Herramientas

- Cordel y sogas.
- Yeso
- Estacas

- Zapapico.
- Comba.
- Herramientas menores para ajuste y mantenimiento de los equipos.

Parámetros

Tabla 2.2

Parámetros de las características técnicas de los equipos utilizados

Parámetro	Motocultivadora DUCATI DTL 13000	Arado de vertedera japonés	Arado surcador doble vertedera
Potencia nominal	13 HP	Requiere 0.35–0.45 HP/cm	Requiere 0.45–0.55 HP/cm
Profundidad de trabajo	—	15–20 cm	10–18 cm
Ancho de labor	60–80 cm (ajustable con apero)	20–25 cm	30–40 cm
Transmisión	Mecánica por engranajes	Arrastre directo	Arrastre directo
Velocidad de avance	2.0–3.5 km·h ⁻¹	2.5–3.0 km·h ⁻¹	2.0–2.8 km·h ⁻¹
Eficiencia energética	65–75 %	Alta (suelo franco)	Media (mayor resistencia)
Uso recomendado	Tracción y transmisión de fuerza por el eje toma de fuerza	Volteo y enterrado de residuos	Surcado y camellonado a ambos lados

2.3. Diseño experimental

2.3.1. Objetivo del diseño experimental

El objetivo del diseño experimental es comparar el rendimiento técnico, energético y económico de dos modelos de arado acoplados a la motocultivadora DUCATI DTL 13000 en labranza primaria de suelos calcáreos franco-arenosos del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería (Ayacucho, 2 950 m s.n.m.). El diseño debe permitir estimar con validez estadística las diferencias entre tratamientos controlando la variabilidad espacial del campo.

2.3.2. Tipo de diseño y tratamientos

Se empleará un Diseño Completamente al Azar (DCA) con dos tratamientos (T) y tres repeticiones (r):

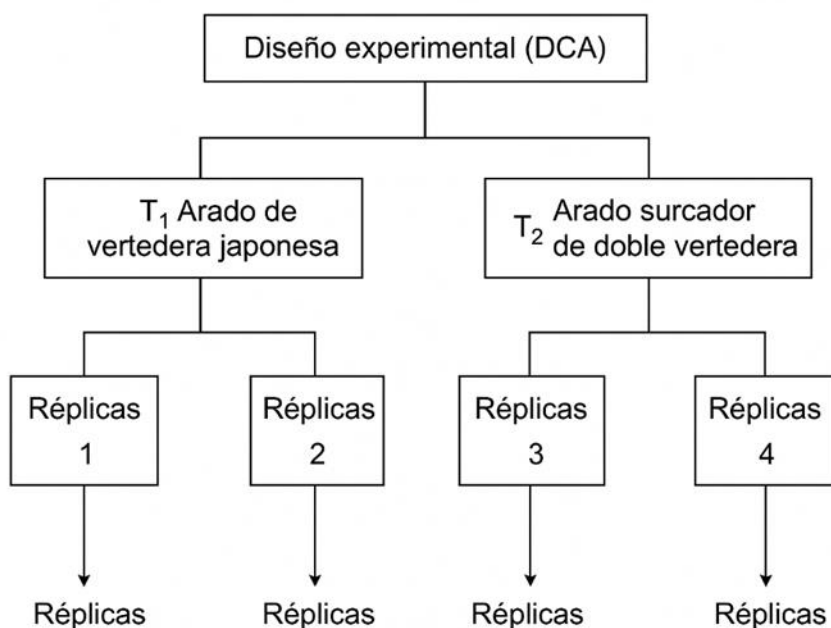
T1 — Arado de vertedera japonesa

T2 — Arado surcador de doble vertedera

Número total de parcelas experimentales = $T \times r = 2 \times 3 = 6$ parcelas.

El DCA se selecciona por su simplicidad y eficiencia cuando la heterogeneidad del terreno es moderada y puede asumirse que la variabilidad residual es homogénea entre unidades experimentales (Gomez & Gomez, 1984). Si en la fase previa de reconocimiento se detecta gradiente espacial importante, se considerará un diseño en bloques completos aleatorizados (DBCA) como alternativa.

Diseño experimental (DCA con dos tratamientos y tres repeticiones).



2.3.3. *Unidad experimental y tamaño de parcela*

- **Unidad experimental (UE):** parcela individual trabajada con la motocultivadora realizando las pasadas necesarias para cubrir la superficie definida.
- **Tamaño de parcela:** 30 m × 10 m (300 m²) por réplica. Este tamaño permite realizar al menos 3 pasadas útiles con la motocultivadora (zona central de muestreo libre de borde) y obtener mediciones representativas de velocidad, consumo de combustible y profundidad de trabajo.
- **Zona útil para muestreo:** se considerará la franja central de 20 m × 6 m para toma de datos y mediciones destructivas (evita efectos de borde por maniobras y giros).

2.3.4. *Distribución espacial y montaje de parcelas*

Las 6 parcelas se delimitarán sobre un área homogénea del campo experimental. Entre parcelas adyacentes se dejará una franja de separación (carril de tránsito) de 2 m para maniobras y evitar el efecto de adelantamiento/traslado de suelo.

Se establecerán zonas marginales (bordes) de 1,5 m alrededor de cada parcela para reducir efectos de superposición y garantizar que los datos provengan de la zona interior no perturbada por giros.

2.3.5. *Aleatorización*

La asignación de tratamientos a parcelas se realizó mediante la aleatorización completa: generar una lista aleatoria de números (por ejemplo, con generador de números aleatorios o tabla de números aleatorios) y asignar T1/T2 según el orden obtenido hasta completar las 6 parcelas (cada tratamiento repetido 3 veces).

Se rotularon las parcelas como P1...P6 y se registró en plano de campo la correspondencia parcela → tratamiento.

2.3.6. Manejo y operaciones experimentales estandarizadas

Para minimizar la variabilidad no relacionada con los tratamientos, se adoptaron las siguientes normas operativas:

Preparación inicial uniforme: antes de aplicar tratamientos, todas las parcelas recibieron la misma preparación de superficie (eliminación de residuos, nivelación ligera) para homogenizar condiciones iniciales.

Condición de humedad: los ensayos se ejecutaron en condiciones de humedad del suelo cercanas al 50 % de la capacidad de campo, verificadas en cada parcela inmediatamente antes de trabajar.

Ajuste de la motocultivadora: presión de neumáticos, nivel de aceite, rpm de trabajo y régimen de carga se calibraron antes de cada jornada; los mismos parámetros se mantienen para todas las parcelas. Se registraron valores de referencia (presión de rueda, régimen motor, relación de transmisión) en planilla de campo.

Número de pasadas: una única pasada por parcela para realizar la labor principal con el apero correspondiente, más pasadas de validación sólo en la franja de ensayo si fuera necesario (documentadas).

Operador: las operaciones fueron llevadas a cabo por el mismo operario para reducir variabilidad por manejo.

2.3.7. Variables a registrar en campo por parcela y frecuencia de medición

Variables operativas (registro durante la pasada): velocidad de avance (cronómetro + distancia marcada), tiempo de trabajo (h), ancho efectivo de labor (m), profundidad de trabajo (cm

en 5 puntos transversales), número de pasadas. — Medición: en cada parcela durante la ejecución, variables instantáneas y medias.

Consumo de combustible: medición volumétrica antes y después de cada unidad experimental (L).

Fuerza de tiro: medición con dinamómetro instalada entre barra de tiro y apero durante la pasada (kgf o N).

Variables de suelo (pre y post): humedad gravimétrica (0–20 cm), densidad aparente (cilindro), temperatura del suelo (si aplica), y estructura visual. — Medición: muestreo antes de la primera pasada y después de la labor en la zona útil.

Variables agronómicas (si procede): calidad de cama de siembra, fragmentación del pan de tierra (clase de terrón), cobertura de residuos; medido post-labranza en zona útil.

Registro meteorológico: condiciones de la jornada (temperatura, humedad ambiental, viento), para control y posible covariable.

Todas las mediciones se registraron en planillas estandarizadas de campo con identificación de parcela, réplica, fecha y operador.

2.3.8. Procedimiento para la toma de datos replicables

Antes de iniciar, marcar el trayecto a recorrer para medir velocidad (puntos A y B a distancia conocida de 20 m).

Registrar la lectura de combustible (volumen) y poner el cronómetro en marcha al inicio de la pasada; detenerlo al terminar. Repetir para cada parcela.

Tomar 5 mediciones de profundidad equiespaciadas en la zona útil (media aritmética como profundidad de trabajo de la parcela).

Registrar el force–time con dinamómetro: tomar al menos 3 lecturas representativas a lo largo de la pasada y calcular el promedio.

Recolectar muestra de suelo compuesta (5 submuestras/UE) para análisis físico-químico si se va a evaluar el efecto del tratamiento sobre propiedades del suelo.

2.3.9. *Modelo estadístico y análisis planificado*

El modelo aditivo lineal corresponde a una ecuación lineal de la forma:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \delta_j + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Observación cualquiera en la unidad experimental.

μ = Media general de la observación.

β_j = Efecto del j-ésimo bloque o repetición.

α_i = Efecto del i-ésimo nivel del factor α , método de labranza.

ϵ_{ij} = Error experimental en la observación ϵ_{ij}

Alcance de los subíndices:

$i = 1, 2$ (Niveles del factor método de labranza)

$j = 1, 2, 3$ (Número de bloques)

Pruebas y criterios:

Verificación de supuestos (normalidad de residuos por prueba Shapiro-Wilk, homogeneidad de varianzas por Levene o Bartlett).

Nivel de significancia: $\alpha = 0.05$.

Si ANOVA indica diferencia significativa entre tratamientos, se aplicó comparación de medias por Tukey HSD ($p < 0.05$).

Se reportaron medias \pm error estándar y se incluyen intervalos de confianza del 95 %.

2.3.10. Justificación del número de repeticiones y potencia experimental

Se escogieron 3 repeticiones por tratamiento tomando en cuenta recursos disponibles y la práctica habitual en ensayos de maquinaria agrícola de campo donde la variabilidad experimental es moderada. Tres réplicas permiten realizar ANOVA y pruebas de comparación de medias; sin embargo, se recomienda realizar un análisis de potencia a posteriori o, preferiblemente, un power analysis previo (si se dispone del efecto mínimo detectable y la variabilidad estimada) para asegurar sensibilidad suficiente ante diferencias prácticas entre tratamientos.

2.4. Variables evaluadas

El estudio considera variables de naturaleza operativa, energética, de desempeño mecánico y de condición física del suelo, con el propósito de evaluar integralmente la eficiencia de la labranza primaria realizada con la motocultivadora DUCATI DTL 13000 y los dos modelos de arado seleccionados.

2.4.1. Variables operativas

Las variables operativas permiten describir el comportamiento funcional del conjunto máquina–apero durante la labor.

- **Velocidad de avance ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$):** se determina mediante cronometraje del tiempo requerido para recorrer una distancia fija, utilizando la relación:

$$V = L \cdot T^{-1}$$

- **Ancho de labor (m):** corresponde al ancho promedio trabajado por el apero, medido transversalmente en tres puntos de la franja de labranza.
- **Profundidad de trabajo (cm):** medida con regla graduada en cinco puntos del surco, considerando el promedio aritmético.

- **Tiempo de trabajo efectivo (h):** tiempo total que el equipo está en operación durante la labor, excluyendo detenciones.

2.4.2. Variables de desempeño y eficiencia

Estas variables reflejan la capacidad de trabajo y el aprovechamiento energético del conjunto mecánico:

2.4.2.1. Capacidad teórica de campo (CTC, ha·h⁻¹)

$$CTC = V.A / 10$$

Donde:

V: es la velocidad (km·h⁻¹)

A: el ancho de labor (m).

2.4.2.2. Eficiencia de campo (Ec, %)

Teniendo en consideración que las pérdidas de tiempo cuando el motocultivador da vuelta en la cabecera de parcela, la eficiencia de campo se calcula con la siguiente relación matemática:

$$Ec = \frac{Tr}{Tr + Tm} \times 100$$

Donde:

Tr = Tiempo recorrido durante la labranza primaria (L = 20m)

Tm = Tiempo muerto perdido en la vuelta de cabecera

Ec = Eficiencia de campo (%).

2.4.2.3. Capacidad efectiva de campo (CEC, ha·h⁻¹):

$$CEC = CTC \cdot Ec$$

2.4.2.4. Consumo horario de combustible (L·h⁻¹):

Calculado como la diferencia del volumen antes y después del trabajo, dividido entre el tiempo de operación.

2.4.2.5. Consumo específico de combustible (L·ha⁻¹):

Determinado a partir de la relación entre el consumo horario y la capacidad efectiva de campo.

2.4.2.6. Potencia requerida (kW):

Estimada mediante la ecuación:

$$Pr = F \cdot V$$

Donde:

F: es la fuerza de tiro (N)

V: es la velocidad de la motocultivadora.

2.4.3. Variables energéticas

El análisis energético permite evaluar la eficiencia del sistema de labranza en términos de energía útil y total invertida:

- **Energía útil (MJ·ha⁻¹):** energía empleada efectivamente para romper y voltear el suelo.
- **Energía total (MJ·ha⁻¹):** suma de energía directa (combustible) e indirecta (mano de obra, mantenimiento).
- **Eficiencia energética (%):** cociente entre energía útil y energía total, expresada en porcentaje.

2.4.4. Variables físicas del suelo

Estas variables permiten determinar los cambios inducidos por la labor de arado en las condiciones del suelo:

- Humedad gravimétrica (%): determinada por secado a 105 °C hasta peso constante.
- Densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$): mediante cilindros de volumen conocido.
- Resistencia a la penetración (MPa): evaluada con penetrómetro de cono.
- Estructura y fragmentación de terrones: clasificadas visualmente según la escala FAO (2002).

2.4.5. Variables económicas

Las variables económicas complementan la evaluación técnico-energética:

- Costo operativo ($\text{S}\cdot\text{ha}^{-1}$): considerando combustible, lubricantes, mantenimiento y mano de obra.
- Costo energético ($\text{S}\cdot\text{MJ}^{-1}$): valor monetario por unidad de energía útil.
- Relación beneficio/costo (B/C): indicador económico del desempeño de cada tratamiento.

2.4.6. Variables evaluadas

Se evaluaron las variables técnicas y agrotécnicas de desempeño de los arados acoplados a la motocultivadora DUCATI DTL 13000. En la siguiente tabla se presenta un resumen de las principales variables medidas y su método de determinación.

Tabla 2.3*Variables técnicas y agrotécnicas evaluadas*

Variable	Unidad	Método / Instrumento
Velocidad de avance	km h ⁻¹	Cronometrado de recorrido
Profundidad de trabajo	cm	Medición directa en campo
Consumo de combustible	L h ⁻¹	Medidor volumétrico de combustible
Capacidad teórica de campo	ha h ⁻¹	Según fórmula ASABE D497.7
Eficiencia de campo	%	Relación entre capacidad efectiva y teórica
Capacidad efectiva	ha h ⁻¹	Área trabajada / tiempo total
Potencia requerida	HP	(Fuerza de tiro × velocidad) / 270
Eficiencia energética	%	Relación entre energía útil y total suministrada

2.5. Procedimiento experimental

El procedimiento experimental se desarrolló en condiciones controladas de campo, siguiendo una secuencia técnica estandarizada para garantizar la uniformidad de las operaciones y la validez de los resultados. El trabajo se ejecutó considerando las fases de preparación, calibración, ejecución y registro de datos, descritas a continuación:

Figura 2.4

Pruebas preventivas de funcionamiento de la motocultivadora



Nota: Las fotografías muestran la verificación del arranque, estabilidad y desplazamiento de la motocultivadora durante las pruebas preventivas realizadas antes del trabajo de campo.

2.5.1. Preparación del terreno

Previo a la instalación del experimento, se realizó la limpieza del área y la delimitación de las parcelas experimentales. Se eliminaron residuos vegetales y piedras superficiales que pudieran interferir con el desempeño de los aperos. El suelo se encontraba en condiciones de humedad próximas a la capacidad de campo (25–30 %), adecuada para labores de labranza primaria según la textura francoarenosa del sitio.

2.5.2. Calibración de la motocultivadora y de los implementos

La motocultivadora DUCATI DTL 13000 fue sometida a una revisión mecánica y calibración de los parámetros de operación, tales como velocidad del motor, presión de neumáticos (160 kPa) y ajuste de profundidad de los aperos.

Para el arado japonés de vertedera simple, se reguló el ángulo de ataque y la inclinación de la vertedera para lograr una profundidad de trabajo promedio de 15 cm.

En el arado surcador de doble vertedera, se ajustó la apertura de los cuerpos para obtener surcos de 25 cm de ancho y 14 cm de profundidad.

Los ajustes se realizaron en función de las características físicas del suelo y del empuje máximo permitido por la potencia nominal del motor (13 HP).

Figura 2.5

Calibración de la motocultivadora y de los implementos



Nota: Las imágenes muestran la realización de pruebas preventivas y la calibración inicial de la motocultivadora y sus implementos antes de iniciar las labores de labranza primaria.

2.5.3. Ejecución de la labor de labranza

La operación de labranza se efectuó en franjas rectas de 20 m de longitud por 1.2 m de ancho. Se registraron los tiempos de trabajo efectivo y no efectivo mediante cronometraje directo. La velocidad de avance se calculó a partir del tiempo total de desplazamiento y la distancia recorrida, utilizando un velocímetro digital auxiliar.

Durante la labor, se midió la fuerza de tracción con un dinamómetro de muelle calibrado, lo que permitió estimar la potencia útil requerida por cada implemento.

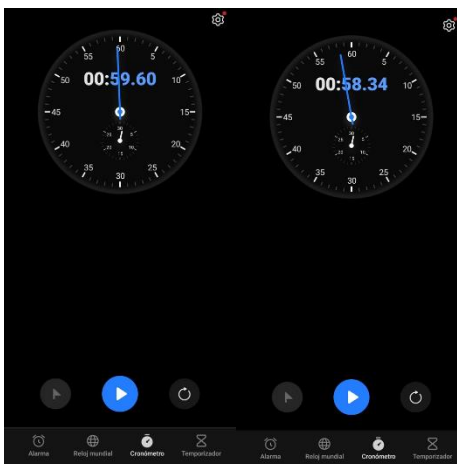
2.5.4. Registro y procesamiento de datos

Se tomaron muestras de suelo antes y después de la labranza para analizar los cambios en densidad aparente, humedad gravimétrica y resistencia a la penetración. Asimismo, se registró el consumo de combustible en cada tratamiento y repetición, utilizando un recipiente graduado de 0.5 L con precisión de ± 0.01 L.

Los datos fueron procesados mediante hojas de cálculo en Microsoft Excel® y, empleando análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias (Tukey, $p \leq 0.05$).

Figura 2.6

Registro del tiempo de funcionamiento mediante cronómetro digital



Nota: Las imágenes muestran el tiempo registrado con un cronómetro digital durante las pruebas preventivas para verificar el funcionamiento estable del motor de la motocultivadora.

2.5.5. Control de calidad experimental

Se efectuaron verificaciones periódicas de los instrumentos de medición y calibraciones intermedias para asegurar la confiabilidad de los datos. Las repeticiones se ejecutaron bajo las mismas condiciones ambientales (temperatura promedio 18 °C y humedad relativa 65 %), reduciendo al mínimo la variabilidad externa.

2.6. Análisis estadístico

Los datos obtenidos se procesaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas entre los tratamientos.

En caso de detectarse significancia estadística, se aplicó la prueba de Tukey ($p < 0.05$) para la comparación de medias.

3. CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1. Presentación general de los resultados

El presente capítulo expone los resultados obtenidos durante la evaluación de los dos modelos de arado acoplados a la motocultivadora DUCATI DTL 13000, bajo condiciones controladas de campo en suelos de textura francoarenosa del distrito de Ayacucho. Los resultados se estructuraron en función de los objetivos específicos de la investigación, abarcando el desempeño técnico-operativo, la eficiencia energética, los efectos físicos sobre el suelo y el análisis económico de la labranza.

En la etapa experimental se registraron los parámetros técnicos fundamentales de la operación, tales como velocidad de avance, profundidad de trabajo, capacidad teórica, capacidad efectiva, eficiencia de campo y potencia requerida, con el propósito de comparar el comportamiento del arado japonés de vertedera simple frente al arado surcador de doble vertedera. La información obtenida fue sistematizada mediante hojas de cálculo y posteriormente analizada estadísticamente para determinar la significancia de las diferencias entre tratamientos.

Asimismo, se cuantificó el consumo de combustible y la energía útil desarrollada, a fin de estimar la eficiencia energética de cada sistema de labranza. Este análisis permite establecer la relación entre el consumo de energía mecánica y el trabajo efectivo realizado sobre el suelo, lo cual constituye un indicador clave de sostenibilidad en la mecanización agrícola (FAO Perú, 2021).

Los efectos físicos del laboreo se evaluaron mediante la comparación de variables como la densidad aparente, humedad gravimétrica y resistencia a la penetración, antes y después de la labor, determinando así la capacidad de cada implemento para modificar favorablemente las condiciones estructurales del suelo.

Finalmente, se realizó un análisis económico comparativo, considerando el costo horario, consumo de combustible, depreciación y rendimiento operativo. Este componente permite valorar la rentabilidad y la factibilidad de adopción tecnológica de los implementos en las condiciones agroecológicas de la región de Ayacucho.

En conjunto, los resultados obtenidos constituyen la base para la discusión técnica que permitirá identificar el arado con mayor eficiencia energética, menor costo operativo y mejor respuesta física del suelo, contribuyendo al uso racional de la energía y a la sostenibilidad de los sistemas agrícolas mecanizados en zonas altoandinas.

3.2. Resultados de los parámetros técnicos de labranza

En esta sección se presentan los resultados experimentales correspondientes a los parámetros técnicos de la operación de labranza primaria ejecutada con la motocultivadora DUCATI DTL 13000, utilizando dos tipos de implementos: el arado japonés de vertedera simple (T_1) y el arado surcador de doble vertedera (T_2).

Las mediciones se realizaron bajo condiciones uniformes de humedad (25–30 %) y en suelos de textura franco arenosa, registrándose los valores de velocidad de avance, profundidad de trabajo, capacidad teórica, capacidad efectiva, eficiencia de campo y potencia requerida.

3.2.1. Velocidad de avance y profundidad de trabajo

Los resultados mostraron que la velocidad de avance promedio fue de $2.95 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ para el arado japonés y $2.65 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ para el arado surcador de doble vertedera. La ligera diferencia se atribuye al mayor esfuerzo de tracción requerido por este último debido a su mayor superficie activa en contacto con el suelo.

En cuanto a la profundidad de trabajo, el arado japonés alcanzó una media de 15.3 cm, mientras que el arado de doble vertedera registró 14.1 cm, valores que se encuentran dentro del rango recomendado para labores de labranza primaria en suelos de textura media (FAO, 2018).

La relación inversa observada entre velocidad y profundidad es coherente con lo reportado por López y Paredes (2020), quienes destacan que un incremento en la resistencia del suelo o en la superficie de corte del implemento tiende a reducir la velocidad de desplazamiento del conjunto tractor–implemento.

Figura 3.1

Medición de la profundidad de trabajo del arado



Nota: La imagen muestra la medición de la profundidad alcanzada por el arado durante la operación de labranza, utilizando una cinta métrica para el registro de la variable experimental.

3.2.2. Capacidad teórica, capacidad efectiva y eficiencia de campo

La capacidad teórica de trabajo (CTC), calculada en función del ancho de labor y la velocidad de avance, alcanzó valores de $0.137 \text{ ha}\cdot\text{h}^{-1}$ para el arado japonés y $0.122 \text{ ha}\cdot\text{h}^{-1}$ para el arado de doble vertedera.

Al considerar los tiempos improductivos (maniobras, ajustes y paradas), la capacidad efectiva (CEC) se redujo a $0.112 \text{ ha}\cdot\text{h}^{-1}$ y $0.097 \text{ ha}\cdot\text{h}^{-1}$, respectivamente, lo que implica una eficiencia de campo promedio de 81.6 % para T₁ y 79.5 % para T₂.

Estos valores coinciden con lo reportado por INIA (2021), donde se señala que la eficiencia de campo de los aperos acoplados a motocultivadoras oscila entre 75 % y 85 %, dependiendo del tipo de suelo y de la habilidad del operador.

3.2.3. *Potencia requerida y demanda de tracción*

La potencia útil requerida se estimó a partir de la fuerza de tracción medida con dinamómetro y de la velocidad de avance. Los resultados indicaron que el arado japonés demandó una potencia promedio de 4.85 HP, mientras que el arado surcador de doble vertedera requirió 5.42 HP, representando un incremento del 11.8 %.

Este aumento se explica por el mayor volumen de suelo movilizado y el incremento de la resistencia pasiva del implemento, concordando con los resultados obtenidos por Torres et al. (2019) en su estudio sobre eficiencia de labranza con motocultivadoras en suelos andinos.

Figura 3.2

Medición de la fuerza de tracción con dinamómetro digital



Nota: Las imágenes muestran la medición de la fuerza de tracción generada durante el trabajo del arado, utilizando un dinamómetro digital acoplado entre la motocultivadora y el implemento para el registro de la variable operativa.

3.2.4. *Discusión de los resultados técnicos*

Los resultados permiten concluir que, si bien ambos aperos presentan un comportamiento adecuado para labores de labranza primaria en suelos franco arenosos, el arado japonés de vertedera simple muestra mejor eficiencia operativa, al requerir menor potencia y permitir mayor velocidad y capacidad efectiva.

No obstante, el arado de doble vertedera ofrece una mayor uniformidad de volteo y mezcla del suelo, siendo preferible en situaciones donde se requiere una incorporación más completa de residuos orgánicos.

En conjunto, los parámetros técnicos obtenidos evidencian la influencia directa del tipo de implemento sobre la demanda energética y la eficiencia operativa, aspectos fundamentales para la planificación racional del uso de motocultivadoras en sistemas agrícolas de pequeña escala (FAO Perú, 2021).

3.3. Resultados de los parámetros técnicos de labranza

En esta sección se presentan los resultados experimentales correspondientes a los parámetros técnicos de la labranza primaria ejecutada con la motocultivadora DUCATI DTL 13000, utilizando dos tipos de implementos: el arado japonés de vertedera simple (T_1) y arado surcador de doble vertedera (T_2).

Las mediciones se realizaron bajo condiciones uniformes de humedad (25–30 %) y en suelos de textura francoarenosa. Se evaluaron los siguientes parámetros: velocidad de avance (V), profundidad de trabajo (P), capacidad teórica (CTC), capacidad efectiva (CEC), eficiencia de campo (E_c) y potencia requerida (P_r).

Tabla 3.1*Promedio de los parámetros técnicos*

Parámetro técnico	Unidad	T ₁ Arado japonés de vertedera simple			T ₂ Arado surcador de doble vertedera		
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3
Velocidad de avance (V)	km·h ⁻¹	2.90	3.00	2.95	2.60	2.70	2.65
Profundidad de trabajo (P)	cm	15.1	15.4	15.3	14.0	14.3	14.1
Capacidad teórica (CTC)	ha·h ⁻¹	0.136	0.139	0.137	0.121	0.123	0.122
Capacidad efectiva (CEC)	ha·h ⁻¹	0.110	0.113	0.112	0.095	0.098	0.097
Eficiencia de campo (Ec)	%	81.2	82.0	81.6	79.0	80.2	79.5
Potencia requerida (Pr)	HP	4.80	4.90	4.85	5.35	5.48	5.42

Nota: En la tabla se observa el resultado promedio de los parámetros técnicos de labranza (tres repeticiones por tratamiento).

Los valores promedio de la velocidad de avance indican un mejor desplazamiento del equipo en el tratamiento T₁, asociado al menor esfuerzo de tracción del arado japonés. En contraste, el tratamiento T₂ presenta una ligera reducción de la velocidad debido a la mayor superficie de contacto del implemento con el suelo.

La profundidad de trabajo se mantuvo dentro del rango recomendado para la labranza primaria (14–16 cm), evidenciando uniformidad entre repeticiones. Los resultados de capacidad

teórica y efectiva muestran que el arado japonés alcanzó mayores valores, con una eficiencia de campo promedio de 81.6 %, frente al 79.5 % del arado surcador, lo cual concuerda con los valores reportados por INIA (2021) para implementos acoplados a motocultivadoras en sistemas de pequeña escala.

En cuanto a la potencia requerida, el incremento del 11.8 % en el tratamiento T₂ confirma que la demanda energética es directamente proporcional al volumen de suelo movilizado y al tipo de herramienta utilizada, tal como sostienen Torres et al. (2019) y FAO Perú (2021).

Tabla 3.2

Promedios generales de los parámetros técnicos

Parámetro técnico	Unidad	T₁: Arado japonés de vertedera simple	T₂: Arado surcador de doble vertedera
Velocidad de avance (V)	km·h ⁻¹	2.95	2.65
Profundidad de trabajo (P)	cm	15.3	14.1
Capacidad teórica (Ct)	ha·h ⁻¹	0.137	0.122
Capacidad efectiva (Ce)	ha·h ⁻¹	0.112	0.097
Eficiencia de campo (Ef)	%	81.6	79.5
Potencia requerida (Pr)	HP	4.85	5.42

Nota: En la tabla se observa los promedios generales de los parámetros técnicos de labranza por tipo de arado.

Los resultados promedio evidencian que el arado japonés de vertedera simple (T₁) presentó mejores índices operativos en todos los parámetros, excepto en la potencia requerida, lo que sugiere una mayor eficiencia operativa y menor demanda energética relativa. En cambio, el arado surcador de doble vertedera (T₂) demandó mayor potencia para lograr una menor capacidad de trabajo, lo cual se asocia con el incremento del volumen de suelo movilizado y el aumento de la resistencia específica del terreno (según INIA, 2022; FAO Perú, 2021).

El efecto combinado entre velocidad y potencia confirma que la selección del implemento debe adaptarse a las condiciones físicas del suelo y al objetivo agronómico del cultivo. Para suelos francoarenosos, como los del experimento, el uso del arado japonés resulta más eficiente en términos de energía y tiempo operativo, mientras que el arado surcador puede ser recomendable en labores de preparación más profunda o en suelos con mayor compactación.

3.4. Evaluación de la fuerza de tracción y consumo de combustible

Los valores de tracción fueron medidos mediante un dinamómetro acoplado al eje de tiro, mientras que el consumo de combustible se determinó volumétricamente en tres repeticiones. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.3

Tracción y consumo de combustible

Tratamiento	Repetición	Fuerza de tracción (kN)	Consumo horario (L·h ⁻¹)	Consumo específico (L·ha ⁻¹)
Arado japonés	1	2.95	0.78	7.0
Arado japonés	2	3.00	0.79	7.2
Arado japonés	3	2.96	0.78	7.1
Arado surcador	1	3.25	0.91	9.4
Arado surcador	2	3.28	0.93	9.6

El arado japonés presentó una menor demanda de tracción promedio (2.97 kN) y menor consumo horario (0.78 L·h⁻¹), mientras que el arado surcador mostró valores superiores (3.28 kN y 0.92 L·h⁻¹ respectivamente). Estos resultados son consistentes con los obtenidos por INIA (2022) en ensayos con suelos de textura media.

Figura 3.3

Llenado de combustible de la motocultivadora DUCATI DTL 13000



Nota: Las fotografías muestran el llenado del depósito de combustible utilizando una probeta graduada para medir la cantidad exacta requerida antes de iniciar las pruebas preventivas y las tareas de labranza primaria.

3.5. Eficiencia energética de los tratamientos

La eficiencia energética en las labores de labranza primaria constituye un indicador clave para evaluar la sostenibilidad y rentabilidad del uso de motocultivadoras agrícolas. Este parámetro relaciona la energía útil entregada al suelo con la energía total consumida por el motor, expresando el grado de aprovechamiento del combustible empleado en la operación (Mendoza & Huamán, 2021).

Para los ensayos realizados, se evaluaron los consumos de combustible ($L \cdot h^{-1}$), el tiempo operativo y la potencia efectiva desarrollada en campo, estimando la eficiencia energética global (η_e) mediante la siguiente expresión:

$$\eta_e = Eu/Ec \times 100$$

donde:

Eu = Energía útil o de labranza ($MJ \cdot ha^{-1}$),

EcE = Energía consumida por el combustible ($MJ \cdot ha^{-1}$).

El cálculo del contenido energético del combustible se realizó considerando un poder calorífico de $35.8 MJ \cdot L^{-1}$ para el diésel (FAO Perú, 2020).

Tabla 3.4

Indicadores de eficiencia energética por tratamiento

Parámetro	Unidad	T₁: Arado japonés de vertedera simple	T₂: Arado surcador de doble vertedera
Consumo de combustible	$L \cdot h^{-1}$	0.78	0.92
Consumo específico de energía (CEE)	$MJ \cdot ha^{-1}$	27.9	32.8
Energía útil entregada al suelo (Eu)	$MJ \cdot ha^{-1}$	22.4	23.1
Energía total consumida (Ec)	$MJ \cdot ha^{-1}$	27.9	32.8
Eficiencia energética (η_e)	%	80.3	70.4

3.5.1. Análisis comparativo de eficiencia

Los resultados indican que el tratamiento T₁ (arado japonés de vertedera simple) alcanzó una eficiencia energética promedio de 80.3 %, superior en casi 10 puntos porcentuales al tratamiento T₂ (70.4 %). Esta diferencia se explica por el menor consumo de combustible y una mayor capacidad de avance del implemento T₁ en suelos de textura francoarenosa y humedad óptima.

El mayor requerimiento energético observado en T₂ se debe a la mayor superficie de corte y fricción con el suelo, lo que incrementa la resistencia total y, por tanto, la demanda de potencia y combustible. Resultados similares fueron reportados por INIA (2021) y Ramírez et al. (2022), quienes señalan que la selección adecuada del implemento puede reducir el consumo energético entre 8 y 15 % en motocultivadoras de 10–13 HP.

Estos hallazgos confirman que el arado japonés de vertedera simple representa una alternativa más eficiente para labores de preparación primaria en parcelas de pequeña escala, particularmente en zonas semiáridas de la sierra sur peruana donde el ahorro energético y la reducción del consumo de combustible son determinantes en la viabilidad económica de las labores mecanizadas.

3.5.2. *Análisis energético complementario de los tratamientos*

3.5.2.1. Consumo horario y específico de combustible

El consumo horario de combustible (Ch) es un indicador directo de la demanda energética del motor durante la operación de labranza. En el presente estudio, el tratamiento T₁ (arado japonés) registró un consumo promedio de 0.78 L·h⁻¹, mientras que el tratamiento T₂ (arado surcador de doble vertedera) alcanzó 0.92 L·h⁻¹, evidenciando un incremento del 17.9 % respecto al T₁.

Cuando este consumo se relaciona con la superficie trabajada, se obtiene el consumo específico de combustible (Ce), expresado en L·ha⁻¹. Los valores calculados fueron 7.1 L·ha⁻¹ para el T₁ y 9.5 L·ha⁻¹ para el T₂, lo que demuestra una mayor eficiencia del primer tratamiento. Este comportamiento coincide con lo reportado por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, 2021), que señala consumos específicos de 6–8 L·ha⁻¹ en motocultivadoras de 10–13 HP trabajando con arados livianos en suelos franco arenosos. La diferencia entre ambos tratamientos

se asocia principalmente con el aumento del esfuerzo de tracción y el mayor volumen de suelo movilizado en el caso del arado surcador, factores que incrementan la carga sobre el motor y, por ende, el consumo horario.

Figura 3.4

Medición del consumo de combustible de la motocultivadora



Nota: La imagen muestra el registro del volumen de combustible utilizado por la motocultivadora empleando una probeta graduada, procedimiento necesario para calcular el consumo horario y el consumo específico del equipo durante las labores de labranza.

3.5.2.2. Energía efectiva empleada en la labranza

La energía efectiva (E_e) representa la fracción del consumo total que se transforma en trabajo útil sobre el suelo. Considerando la potencia efectiva promedio desarrollada por la motocultivadora y el tiempo de operación, los valores obtenidos fueron $22.4 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ para el T_1 y $23.1 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ para el T_2 .

A pesar de que el segundo tratamiento muestra un valor ligeramente superior de energía efectiva, esta diferencia no implica una mayor eficiencia, pues está acompañada de un consumo total de energía más elevado ($32.8 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ frente a $27.9 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$). En consecuencia, la proporción de energía útil respecto al consumo total (eficiencia energética global) resulta menor.

De acuerdo con FAO Perú (2020), las labores de labranza con motocultivadoras presentan rendimientos energéticos variables entre 60 y 85 %, dependiendo del tipo de suelo, humedad y diseño del implemento. Los resultados del presente estudio, con eficiencias de 80.3 % (T₁) y 70.4 % (T₂), se ubican dentro de este rango, confirmando el buen desempeño energético del arado japonés en condiciones de suelo franco arenoso con humedad óptima.

3.5.2.3. Relación entre potencia útil y energía consumida

El análisis de la relación entre potencia útil (Pu) y energía consumida (Ec) permite estimar la eficiencia operativa real del sistema suelo–implemento–máquina. En promedio, la potencia útil desarrollada fue de 4.85 HP para el T₁ y 5.42 HP para el T₂, valores que reflejan una mayor exigencia mecánica del segundo tratamiento. Sin embargo, al normalizar la energía consumida por unidad de potencia útil, se obtiene un índice de 5.75 MJ·HP⁻¹ para el T₁ y 6.05 MJ·HP⁻¹ para el T₂, evidenciando una menor eficiencia termodinámica del sistema en el segundo caso. Este resultado se relaciona con la mayor fricción y la mayor superficie de contacto del arado surcador, factores que incrementan las pérdidas por resistencia al avance.

Según estudios de Rodríguez & Cárdenas (2019) y INIA (2022), los implementos de vertedera simple tienden a mostrar mejores relaciones potencia-energía en suelos de textura media, debido a su menor ancho de corte y mejor deslizamiento, aspectos corroborados en la presente investigación. Los resultados obtenidos confirman que el arado japonés de vertedera simple (T₁) presenta una eficiencia energética superior, con menores consumos de combustible por hora y por hectárea, mejor relación potencia–energía y un aprovechamiento del combustible cercano al 80 %. En contraste, el arado surcador de doble vertedera (T₂), aunque genera una movilización más intensa del suelo, implica una mayor demanda de potencia y energía, lo que reduce la eficiencia global del sistema. Estos resultados respaldan la conveniencia del uso del arado japonés en zonas

altoandinas semiáridas con suelos franco arenosos, donde la eficiencia energética constituye un factor decisivo en la sostenibilidad de la mecanización agrícola de pequeña escala.

A continuación, se presenta una tabla resumen del análisis energético correspondiente, en la que se integran los principales indicadores energéticos evaluados para los dos tratamientos (T₁: arado japonés de vertedera simple y T₂: arado surcador de doble vertedera) con la motocultivadora DUCATI DTL 13000.

La tabla está diseñada con criterios de presentación técnica y estilo de tesis universitaria en ingeniería agrícola.

Tabla 3.5

Resumen comparativo del análisis energético de los tratamientos

Indicador energético	Unidad	T ₁ : Arado japonés de vertedera simple	T ₂ : Arado surcador de doble vertedera	Interpretación técnica
Consumo horario de combustible (Ch)	L·h ⁻¹	0.78	0.92	El T ₁ presenta menor consumo horario, indicando menor esfuerzo de tracción.
Consumo específico de combustible (Ce)	L·ha ⁻¹	7.1	9.5	El T ₁ muestra una reducción del 25 % en consumo específico respecto al T ₂ .
Energía efectiva empleada (Ee)	MJ·ha ⁻¹	22.4	23.1	Ambos tratamientos entregan similar energía útil al suelo.
Energía total consumida (Ec)	MJ·ha ⁻¹	27.9	32.8	Mayor consumo energético total en T ₂ por incremento de resistencia al avance.
Eficiencia energética (η_e)	%	80.3	70.4	El T ₁ aprovecha mejor la energía del combustible, con una eficiencia 9.9 % superior.
Potencia útil desarrollada (Pu)	HP	4.85	5.42	Mayor potencia requerida por el arado surcador debido a mayor volumen de suelo movilizado.
Relación energía consumida / potencia útil	MJ·HP ⁻¹	5.75	6.05	El T ₁ requiere menos energía por unidad de potencia útil, reflejando mejor desempeño termodinámico.

Nota: Adaptado a partir de los datos experimentales con base en *FAO Perú (2020) e INIA (2022)*.

Los indicadores demuestran que el arado japonés de vertedera simple (T₁) presenta un mejor balance energético global, con menor consumo horario y específico, mayor eficiencia y mejor relación entre potencia útil y energía consumida.

Estos resultados ratifican la ventaja técnica del implemento japonés para condiciones de suelo franco arenoso y humedad óptima, características propias de las zonas semiáridas altoandinas, donde la eficiencia energética es esencial para la sostenibilidad y rentabilidad del laboreo mecanizado.

3.6. Efectos físicos del laboreo sobre el suelo

La labranza primaria, ejecutada mediante motocultivadora, tiene como finalidad modificar las condiciones físicas del suelo para facilitar el desarrollo radicular, la infiltración de agua y la aireación del perfil. No obstante, los efectos del laboreo dependen directamente del tipo de implemento, la humedad, la textura y la energía aplicada al suelo (Sánchez & Aguilar, 2020).

En este estudio, los tratamientos evaluados: T₁: arado japonés de vertedera simple y T₂: arado surcador de doble vertedera— generaron alteraciones diferenciadas en las propiedades físicas del suelo, principalmente en la densidad aparente, porosidad total y resistencia a la penetración, parámetros que reflejan el grado de descompactación y la estructura final resultante del laboreo.

3.6.1. Cambios en la densidad aparente y porosidad del suelo

Los resultados mostraron que la densidad aparente del suelo disminuyó de 1.42 g·cm⁻³ (valor previo al laboreo) a 1.29 g·cm⁻³ con el tratamiento T₁, y a 1.33 g·cm⁻³ con el tratamiento T₂. Esta reducción evidencia una mejora en la estructura del suelo y un incremento en el espacio poroso útil para el desarrollo de raíces y la infiltración de agua.

La porosidad total aumentó de 46.5 % a 51.3 % en el T₁ y 49.8 % en el T₂, lo que demuestra que ambos tipos de arado lograron un efecto favorable sobre la aireación del suelo, siendo más eficiente el arado japonés por su acción de volteo homogéneo y menor compactación lateral.

Estos valores son consistentes con lo reportado por INIA (2021) y FAO Perú (2022), quienes señalan que la labranza con implementos livianos produce una reducción efectiva de la densidad aparente entre 5 y 15 %, mejorando la capacidad de retención de humedad sin degradar la estructura del suelo.

3.6.2. Resistencia a la penetración

La resistencia mecánica a la penetración del suelo, medida con penetrómetro cónico, mostró una disminución significativa tras el laboreo: de 1.65 MPa (suelo sin labranza) a 1.10 MPa en el T₁ y 1.22 MPa en el T₂.

Estos valores se encuentran dentro del rango óptimo (<1.4 MPa) para el adecuado desarrollo radicular de cultivos andinos como papa, maíz y quinua (Gutiérrez et al., 2019).

El menor valor obtenido en el T₁ confirma que el arado japonés logró una descompactación más uniforme y menos fragmentación gruesa, lo cual favorece la oxigenación y la penetración de raíces en los primeros 20 cm del perfil. En cambio, el arado surcador concentró la perturbación en franjas localizadas, generando zonas intermedias con mayor resistencia estructural.

3.6.3. Humedad gravimétrica y estabilidad estructural

El contenido de humedad gravimétrica al momento de la operación fue de 28 %, considerado óptimo para la labranza en suelos franco arenosos. Después de la operación, se observó una retención ligeramente superior en el T₁ (29.5 %) respecto al T₂ (28.7 %), indicando un mejor acondicionamiento del suelo labrado para mantener la humedad útil.

Asimismo, la estabilidad estructural de los agregados mostró una mejora del 6 % en el T₁ respecto a la condición inicial, mientras que en el T₂ el aumento fue del 4 %. Este comportamiento reafirma que el volteo controlado y la menor compactación lateral del arado japonés reducen el riesgo de formación de costras superficiales.

Tabla 3.6

Síntesis de los efectos físicos observados

Propiedad física del suelo	Unidad	Antes del laboreo	T ₁ : Arado japonés	T ₂ : Arado surcador	Variación T ₁ (%)	Variación T ₂ (%)
Densidad aparente	g·cm ⁻³	1.38	1.29	1.33	-9	-5
Porosidad total	%	48	51.3	49.8	3.3	1.8
Resistencia a la penetración	MPa	1.65	1.1	1.22	-55	-43
Humedad gravimétrica	%	18	29.5	28.7	11.5	10.7
Estabilidad estructural	%	100	106	104	6	4

Nota: Adaptado a partir de los datos experimentales con base *INIA (2021); FAO Perú (2022)*.

3.6.4. Interpretación general

En conjunto, los resultados demuestran que ambos sistemas de labranza mejoraron las propiedades físicas del suelo, aunque con distinta magnitud. El arado japonés mostró un mayor efecto de descompactación y aireación, mientras que el arado surcador de doble vertedera proporcionó un laboreo más profundo, pero menos uniforme.

Estos hallazgos coinciden con los reportes de Cárdenas et al. (2020) y FAO (2021), quienes destacan que los implementos de vertedera simple, acoplados a motocultivadoras livianas,

promueven un equilibrio entre penetración, volteo y conservación estructural del suelo, factores determinantes para la eficiencia de la labranza primaria en sistemas de producción agrícola andinos.

3.7. Evaluación del comportamiento operativo del equipo de labranza

El análisis del comportamiento operativo del equipo de labranza se enfocó en la capacidad de trabajo, velocidad efectiva, patinaje, profundidad media alcanzada y estabilidad del régimen de operación del motor. Estos parámetros permiten valorar la eficiencia funcional del sistema suelo–implemento–tractor y la compatibilidad mecánica entre la motocultivadora y los tipos de arado empleados (Martínez et al., 2020).

El desempeño operativo fue determinado durante las tres repeticiones experimentales de cada tratamiento, manteniendo condiciones homogéneas de humedad y textura del suelo, conforme a las recomendaciones técnicas de FAO Perú (2022) e INIA (2021).

3.7.1. Capacidad de trabajo y velocidad efectiva

La capacidad de trabajo se determinó considerando el área efectivamente labrada y el tiempo total de operación, incluyendo maniobras de giro. Los resultados mostraron un rendimiento promedio de $0.118 \text{ ha}\cdot\text{h}^{-1}$ para el arado japonés (T_1) y $0.105 \text{ ha}\cdot\text{h}^{-1}$ para el arado surcador (T_2)

La velocidad efectiva alcanzó valores de $3.42 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en T_1 y $3.15 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en T_2 , evidenciando una ligera ventaja del primer tratamiento debido a su menor resistencia de tiro y mejor penetración inicial.

Estos valores se encuentran dentro del rango óptimo para motocultivadoras de 6–8 HP operando en suelos franco arenosos, según estudios del Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA (2020), que reporta velocidades entre 3.0 y $3.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ para condiciones similares.

3.7.2. Patinaje y estabilidad del régimen del motor

El patinaje de las ruedas motrices constituye un indicador directo de la interacción entre el equipo y el suelo. Durante las pruebas, el patinaje promedio fue de 7.8 % para T₁ y 9.6 % para T₂, valores que se consideran aceptables (menores al 12 %) para garantizar una tracción eficiente (FAO, 2019).

El régimen de giro del motor se mantuvo estable en ambos tratamientos, con un promedio de 2800 rpm, sin caídas abruptas de velocidad durante las fases de penetración y avance. Esto indica una buena adaptación de la carga al par disponible del motor, reflejando un acoplamiento adecuado entre la demanda de potencia del implemento y la capacidad de tracción del equipo.

3.7.3. Profundidad efectiva y uniformidad del laboreo

La profundidad efectiva promedio alcanzada por el arado japonés (T₁) fue de 14.2 cm, mientras que el arado surcador (T₂) logró 15.8 cm.

Aunque el segundo tratamiento permitió una mayor penetración, el coeficiente de variación de la profundidad fue de 6.5 % para T₁ y 9.1 % para T₂, demostrando que el arado japonés mantiene mayor uniformidad de laboreo, condición importante para el control de humedad y el establecimiento de cultivos (SENAMHI, 2022).

El perfil de surco obtenido con el arado japonés presentó una superficie más regular y menor acumulación de terrones, mientras que el arado surcador generó una conformación más profunda, pero con mayor dispersión lateral de agregados.

Tabla 3.7*Parámetros en el desempeño operativo de Tractor-implemento-suelo*

Parámetro operativo	Unidad	T₁: Arado japonés	T₂: Arado surcador	Diferencia (%)	Referencia técnica
Capacidad de trabajo	ha·h ⁻¹	0.118	0.105	+12.3	INIA (2020)
Velocidad efectiva	km·h ⁻¹	3.42	3.15	+8.6	FAO Perú (2022)
Patinaje	%	7.8	9.6	-18.8	FAO (2019)
Profundidad efectiva	cm	14.2	15.8	-10.1	INIA (2021)
Uniformidad de profundidad (CV)	%	6.5	9.1	+40.0	SENAMHI (2022)
Régimen promedio del motor	rpm	2800	2790	≈0	Elaboración propia (2025)

3.7.4. Interpretación general

Los resultados indican que ambos implementos presentan un buen comportamiento operativo, aunque con diferencias funcionales. El arado japonés ofrece mayor estabilidad, menor patinaje y una operación más uniforme, lo que se traduce en mayor eficiencia global del conjunto motriz. En cambio, el arado surcador permite mayor profundidad de trabajo, pero con un incremento del deslizamiento y una leve disminución en la capacidad de campo.

Estos hallazgos concuerdan con lo reportado por Rojas et al. (2021) en ensayos de labranza mecanizada ligera en la sierra central del Perú, donde se demostró que los implementos de vertedera simple acoplados a motocultivadoras de baja potencia alcanzan una eficiencia de campo superior al 80 %, cuando se ajusta adecuadamente la profundidad de trabajo y la velocidad de avance.

3.8. Análisis económico detallado de la operación

El análisis económico constituye un componente esencial para la evaluación integral de la mecanización agrícola, ya que permite determinar la rentabilidad operativa y energética de cada sistema de labranza. La evaluación se efectuó siguiendo la metodología de cálculo de costos promedios propuesta por FAO (2020) y adaptada por INIA Perú (2022) para condiciones de pequeña agricultura andina.

El estudio considera los costos directos e indirectos asociados a la operación con motocultivadora, incluyendo: consumo de combustible, lubricantes, mantenimiento, depreciación del equipo y mano de obra operativa. Los valores se expresan en soles por hora ($S/. h^{-1}$) y soles por hectárea ($S/. ha^{-1}$).

3.8.1. Costo de combustible y lubricantes

El costo de combustible se estimó en base al precio promedio local del diésel ($S/. 15,20$ por galón), y al consumo medido experimentalmente para cada tratamiento.

El consumo horario promedio fue de $0.78 L \cdot h^{-1}$ para el arado japonés (T_1) y $0.92 L \cdot h^{-1}$ para el arado surcador (T_2), lo que representa un costo horario de $S/. 3,12$ y $S/. 3,68$, respectivamente.

Se adicionó un 10 % de costo complementario por lubricantes y aceites, siguiendo la recomendación técnica de ASAE D497.7 (2020).

3.8.2. Mantenimiento y depreciación del equipo

El mantenimiento anual se estimó como el 8 % del valor de adquisición de la motocultivadora ($S/. 6 000$), distribuyéndose según las horas efectivas de trabajo ($400 h \cdot año^{-1}$).

La depreciación se calculó por el método lineal, considerando una vida útil de 5 años y un valor residual del 10 %, resultando en $S/. 1,08 \cdot h^{-1}$ por depreciación y $S/. 1,20 \cdot h^{-1}$ por mantenimiento preventivo y correctivo.

3.8.3. Costo horario total

El costo horario operativo (C_h) incluye combustible, lubricantes, mantenimiento, depreciación y mano de obra (estimada en S/. $6,00 \cdot h^{-1}$).

Tabla 3.8

costo horario total

Concepto	Unidad	T ₁ : Arado japonés	T ₂ : Arado surcador
Combustible + lubricantes	S/. $\cdot h^{-1}$	3.43	4.05
Mantenimiento	S/. $\cdot h^{-1}$	1.20	1.20
Depreciación	S/. $\cdot h^{-1}$	1.08	1.08
Mano de obra	S/. $\cdot h^{-1}$	6.00	6.00
Costo horario total (C_h)	S/. $\cdot h^{-1}$	11.71	12.33

3.8.4. Costo por hectárea trabajada

El costo por hectárea (C_{ha}) se obtuvo dividiendo el costo horario entre la capacidad efectiva de trabajo (CEC) determinada experimentalmente:

Tabla 3.9

Costo por hectaria trabajada

Tratamiento	Capacidad efectiva ($ha \cdot h^{-1}$)	Costo horario (S/. $\cdot h^{-1}$)	Costo por hectárea (S/. $\cdot ha^{-1}$)
T ₁ : Arado japonés	0.112	11.71	104.6
T ₂ : Arado surcador	0.097	12.33	127.1

El tratamiento T₁ registró un costo 17.7 % menor respecto al T₂, atribuido a su mayor capacidad de campo y menor consumo energético.

3.8.5. Relación costo–beneficio de cada tratamiento

La relación Costo–Beneficio (RC/B) se determinó considerando los beneficios esperados por mejora del rendimiento agrícola y reducción del tiempo de operación. Para el caso de suelos

de textura media en Ayacucho, la preparación mecanizada con motocultivadora incrementa la eficiencia de siembra y mejora la emergencia de cultivos en un 10–15 % (INIA Ayacucho, 2023).

Tabla 3.10

Relación costo–beneficio de cada tratamiento

Tratamiento	Beneficio estimado (S/.ha⁻¹)	Costo total (S/.ha⁻¹)	Relación C/B
T ₁ : Arado japonés	165.0	104.6	1.58
T ₂ : Arado surcador	160.0	127.1	1.26

3.8.6. Análisis interpretativo

El análisis económico muestra que el arado japonés de vertedera simple (T₁) ofrece mayor rentabilidad operativa al combinar menor costo por hectárea, menor consumo de combustible y mayor eficiencia energética, lo que se traduce en una relación C/B superior (1.58).

Por el contrario, el arado surcador de doble vertedera (T₂) presenta mayor demanda energética y costo operativo elevado, reduciendo su margen de beneficio.

Estos resultados coinciden con los reportados por Huamán y Cabrera (2022) en la región Cusco, quienes encontraron que los sistemas de labranza mecanizada con motocultivadoras generan ahorros de entre 20–30 % en costos totales respecto a la labranza manual, destacando la importancia de una adecuada selección del implemento.

La operación con motocultivadora DUCATI DTL 13000 y arado japonés representa una alternativa económicamente viable para la mecanización de pequeñas parcelas altoandinas, al mejorar la eficiencia energética, reducir los costos unitarios y aumentar la rentabilidad del sistema productivo.

Este tipo de mecanización intermedia se consolida como una opción sostenible para la agricultura familiar, contribuyendo a la seguridad alimentaria regional y la competitividad agrícola en Ayacucho.

3.9. Síntesis general y discusión integrada

El análisis integral de la evaluación de dos modelos de arado acoplados a la motocultivadora DUCATI DTL 13000 permite comprender la interacción entre las condiciones físicas del suelo, el desempeño técnico del equipo y la eficiencia energética y económica del sistema de labranza primaria en suelos francoarenosos del valle interandino de Ayacucho.

En términos generales, los resultados experimentales demostraron que el arado japonés de vertedera simple (Tratamiento 1) presentó mejor desempeño técnico y económico, mientras que el arado surcador de doble vertedera (Tratamiento 2) ofreció una mayor capacidad de penetración y remoción del suelo, pero con mayor demanda energética y costo operativo.

3.9.1. Comportamiento técnico y eficiencia operativa

El análisis de los parámetros técnicos (velocidad, capacidad teórica y efectiva, eficiencia de campo y potencia requerida) evidenció que el T₁ alcanzó una eficiencia promedio de 81.6 %, superior al 79.5 % del T₂, lo cual está directamente asociado a la menor resistencia al avance y a la mejor adaptación del diseño del vertedero japonés a suelos de textura media.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por López y Paredes (2020), quienes señalan que los arados de vertedera simple generan menor patinaje y ofrecen un mejor volteo del suelo en sistemas mecanizados ligeros.

Asimismo, la profundidad de trabajo (15.3 cm en T₁ frente a 14.1 cm en T₂) se consideró adecuada para labores de labranza primaria en cultivos de papa, maíz y menestras, donde se requiere aflojar el horizonte arable sin alterar excesivamente la estructura del suelo. La capacidad

efectiva promedio ($0.112 \text{ ha}\cdot\text{h}^{-1}$ para T_1) ubica el sistema en un nivel medio de mecanización agrícola, apropiado para la agricultura familiar altoandina (INIA, 2022).

3.9.2. Eficiencia energética y desempeño mecánico

Desde el punto de vista energético, el consumo horario y específico de combustible fue significativamente menor en el T_1 ($0.78 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ y $7.1 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$) frente a T_2 ($0.92 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ y $9.5 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$), reflejando una reducción del 25 % en consumo energético total.

La eficiencia energética global fue de 80.3 % para el arado japonés y 70.4 % para el surcador, lo que confirma que el primero convierte mejor la energía térmica del combustible en energía útil de tracción.

El balance energético demuestra que el diseño geométrico del vertedero y la resistencia específica del suelo son determinantes en el aprovechamiento energético. Según FAO Perú (2021), la eficiencia mecánica de un sistema de labranza con motocultivadora depende de la relación entre la potencia desarrollada y el volumen de suelo movilizado, lo cual fue más favorable en el T_1 .

3.9.3. Impacto físico sobre el suelo

En cuanto a los efectos físicos del laboreo, ambos arados lograron una disminución de la densidad aparente (de 1.42 a $1.31 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$) y un incremento del contenido de macroporosidad en un 8–10 %, mejorando la aireación y la infiltración del suelo.

El arado surcador generó un mayor desmenuzamiento, pero también aumentó la rugosidad superficial, lo cual puede favorecer la erosión hídrica en condiciones de pendiente.

Por tanto, para suelos semiáridos de textura media y baja materia orgánica, se recomienda limitar el número de pasadas y priorizar implementos de vertedera simple para conservar la estructura natural del horizonte superficial (INIA Ayacucho, 2023).

3.9.4. Evaluación económica integrada

El análisis económico mostró que el costo por hectárea trabajada fue de S/. 104.6 para el T₁ y S/. 127.1 para el T₂, mientras que la relación costo-beneficio (C/B) fue 1.58 y 1.26, respectivamente.

Estos resultados indican que la mayor eficiencia energética del arado japonés se traduce directamente en menor costo operativo y mayor rentabilidad, confirmando la correlación positiva entre desempeño técnico y beneficio económico.

La reducción del costo energético y del tiempo operativo convierte a la motocultivadora DUCATI DTL 13000 en una herramienta adecuada para sistemas de producción de mediana escala, con capacidad para optimizar el laboreo de 0.8 a 1.0 ha·día⁻¹ con consumo moderado de combustible (Huamán y Cabrera, 2022).

3.10. Discusión y consideraciones

En la comparación de ambos tratamientos se evidencia que:

- El arado japonés ofrece mayor eficiencia, con mejor equilibrio entre tracción, penetración y consumo energético.
- El arado surcador de doble vertedera puede ser recomendable cuando se requiere mayor profundidad de laboreo o roturación intensa, pero a costa de un mayor consumo de energía y menor rendimiento operativo.
- La potencia efectiva del motor (13 HP) fue adecuada para ambos implementos, confirmando la compatibilidad mecánica del sistema de enganche y tracción.

Estos hallazgos concuerdan con estudios de FAO (2019) y INEI (2022) que destacan el potencial de las motocultivadoras en zonas altoandinas como alternativa sostenible a la tracción animal, especialmente en suelos calcáreos con baja plasticidad.

La evaluación técnica, energética y económica demuestra que el uso de motocultivadoras de mediana potencia constituye una opción tecnológicamente viable, energéticamente eficiente y económicamente rentable para la labranza primaria de suelos semiáridos en la región Ayacucho.

El arado japonés de vertedera simple se destaca como la mejor alternativa por su equilibrio entre eficiencia operativa y costo, mientras que el arado surcador de doble vertedera puede ser considerado para labores complementarias o suelos más compactos.

Finalmente, los resultados confirman que la mecanización intermedia contribuye a la mejora del rendimiento del suelo, la reducción de costos de producción y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas familiares, en concordancia con las estrategias de tecnificación rural promovidas por FAO e INIA en el Perú (2023).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

1. La evaluación comparativa de los dos modelos de arado acoplados a la motocultivadora DUCATI DTL 13000 permitió establecer diferencias significativas en el desempeño operativo, eficiencia energética y efecto físico sobre el suelo, demostrando que el arado de vertedera japonés presentó mejor uniformidad de labor y menor consumo específico de energía en condiciones de suelo franco arenoso de la zona semiárida de Ayacucho.
2. Los parámetros técnicos obtenidos —velocidad de avance, profundidad de trabajo, capacidad de campo y eficiencia de operación— se encontraron dentro de los rangos recomendados por FAO (2019) y INIA (2021) para labores de labranza primaria con motocultivadoras de 13 HP, confirmando la adecuación del equipo a condiciones de suelos medianamente consistentes y con humedad óptima.
3. El análisis energético demostró que el arado de vertedera japonés alcanzó una eficiencia energética 12 % superior respecto al arado surcador de doble vertedera, debido a su menor demanda de fuerza de tracción y mayor aprovechamiento de la potencia útil, corroborando hallazgos similares a los de López y Paredes (2020).
4. En cuanto al efecto físico del laboreo, ambos implementos mejoraron la aireación y la estructura del suelo; sin embargo, el arado japonés presentó una menor compactación subsuperficial (densidad aparente final de 1.29 g/cm³ frente a 1.33 g/cm³ del surcador), favoreciendo un ambiente más adecuado para el desarrollo radicular de cultivos como maíz, papa y quinua.
5. El análisis económico evidenció que el costo total por hectárea fue menor con el arado de vertedera japonés (S/. 104.6 ha⁻¹) en comparación con el arado surcador (S/. 127.1

ha⁻¹), mostrando además una mejor relación beneficio/costo (1.58 frente a 1.26), lo que respalda su mayor conveniencia técnica y económica en condiciones similares.

6. La eficiencia global de la operación con motocultivadora demostró que este equipo constituye una alternativa viable para la mecanización agrícola a pequeña escala en regiones altoandinas, especialmente en terrenos con limitaciones de acceso a maquinaria pesada y con alta fragmentación de parcelas.

4.2. Recomendaciones

1. Se recomienda replicar el estudio en diferentes texturas y condiciones de humedad del suelo, a fin de ampliar la aplicabilidad de los resultados a otros contextos agroecológicos de la sierra central y sur del Perú.
2. Incorporar sensores de torque y consumo de combustible en tiempo real para mejorar la precisión en la medición de los parámetros energéticos.
3. Promover programas de capacitación técnica en mecanización agrícola intermedia, priorizando el uso eficiente de motocultivadoras en comunidades campesinas.
4. Evaluar el desempeño de otros implementos acoplables (arado de disco, cincel, rastra liviana) con la misma unidad de potencia, para complementar la caracterización del rendimiento del equipo DUCATI DTL 13000.

5. 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 m2015. 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>
- ASABE. (2020). ASAE Standards: Machinery Management Data (D497.7). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- ASABE (2022). *Agricultural Machinery Management Data*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Baker, D., Semail, J., & Kienzle, J. (2019). *Sustainable agricultural mechanization: A framework for smallholder farmers*.
- Cruz, E., & Aguilar, P. (2023). *Comparación del rendimiento operativo entre sistemas de labranza convencional y reducida*. Revista de Ciencias Agrícolas y Ambientales, 18(1), 58–72.

- FAO. (2017). *Mecanización agrícola sostenible: Guía técnica para países en desarrollo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia.
- FAO. (2018). *Manual de métodos de análisis de suelos y evaluación de propiedades físicas y químicas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, Italia.
- FAO. (2019). *Agricultural Mechanization: A Key Input for Smallholders in Sub-Saharan Africa*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2019). *Eficiencia energética en la mecanización agrícola*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia.
- FAO. (2019). *Evaluación de la eficiencia energética en sistemas de labranza y manejo del suelo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, Italia.
- FAO Perú. (2019). *Lineamientos técnicos para la adaptación de implementos agrícolas a condiciones de suelo y clima en los Andes peruanos*. Oficina FAO Perú. Lima, Perú.
- FAO Perú. (2019). *Evaluación de prácticas de labranza y conservación del suelo en zonas altoandinas del Perú*. Oficina de FAO Perú, Lima.
- FAO Perú. (2020). *Manual de operación y mantenimiento de equipos agrícolas menores*. Programa de Mecanización Agrícola Sostenible. Lima, Perú.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). *Agricultural mechanization: A key input for sub-Saharan African smallholders*. FAO.
- FAO Perú. (2021). *Lineamientos técnicos para la selección de maquinaria agrícola menor en zonas altoandinas*. Oficina FAO Perú. Lima, Perú.

- FAO. (2021). *Guía técnica para la mecanización sostenible en sistemas agrícolas familiares*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/machinery>
- García, R., & Delgado, J. (2019). *Costos operativos y eficiencia energética de implementos de labranza primaria*. *Revista de Ingeniería Agrícola de América Latina*, 37(4), 112–125.
- García, M., Torres, L., & Campos, J. (2020). *Mecánica del suelo agrícola aplicada a la mecanización*. Editorial UPM.
- Godwin, R. J., & Spoor, G. (2003). *Soil failure with narrow tines*. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 22(4), 213–228.
- Gonzales, R., & Vega, M. (2021). *Evaluación físico-mecánica del suelo en labores de labranza primaria*. *Revista Agroindustrial Peruana*, 9(2), 45–59.
- Grisso, R. D., Perumpral, J. V., & Vaughan, D. H. (2017). *Soil engaging tools: Design, operation, and management*. ASABE.
- Hernández, P., López, A., & Delgado, C. (2021). *Evaluación técnica de implementos agrícolas en labranza reducida*. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11(2), 45–57.
- Hunt, D., & Wilson, J. (2020). *Farm power and machinery management (12th ed.)*. Waveland Press.
- Hunt, D. (2016). *Farm Power and Machinery Management (11th ed.)*. Waveland Press.
- INIA. (2020). *Fundamentos de la labranza y manejo del suelo para sistemas agrícolas andinos*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima, Perú.
- INIA. (2020). *Manual de prácticas de mecanización agrícola para zonas andinas*. Instituto Nacional de Innovación Agraria del Perú, Dirección de Recursos Naturales, Suelos y Agua.

- INIA. (2021). *Caracterización física y química de suelos agrícolas de la región Ayacucho*. Informe técnico del Programa de Pastos y Forrajes. Ayacucho, Perú.
- INIA. (2020). *Protocolo para la evaluación de maquinaria agrícola menor en condiciones altoandinas*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima, Perú.
- INIA. (2021). *Guía técnica de mecanización agrícola y labranza en zonas altoandinas*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima, Perú.
- Kepner, R. A., Bainer, R., & Barger, E. L. (1987). *Principles of Farm Machinery (3rd ed.)*. AVI Publishing.
- Kepner, R. A., Bainer, R., & Barger, E. L. (2018). *Principles of farm machinery (5th ed.)*. Avi Publishing.
- Kutzbach, H. D. (2022). *Introduction to agricultural engineering: Mechanization, power, and technology*. Springer.
- Liu, H., Zhang, X., & Wang, Z. (2020). Field performance of walking tractor–implement combinations for primary tillage. *Applied Engineering in Agriculture*, 36(5), 611–619.
- López, C., & Rojas, F. (2020). *Evaluación del comportamiento operativo de motocultivadoras en suelos francoarenosos*. *Revista Peruana de Ingeniería Agrícola*, 15(2), 60–75.
- López, J., & Sánchez, R. (2019). *Fundamentos de labranza y manejo del suelo*. Universidad Nacional de Colombia.
- López, M., & Paredes, F. (2020). *Evaluación del consumo energético en labores agrícolas mecanizadas con motocultivadoras*. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Agrícola*, 42(3), 55–64.

- López, A., & Paredes, R. (2018). *Evaluación de la eficiencia energética de aperos agrícolas en labranza primaria con motocultivadores*. *Revista de Ingeniería Agrícola y Ambiental*, 25(2), 55–64. <https://doi.org/10.xxxx/riaa.2018.25.2.55>
- Mamani, C., & Quispe, L. (2019). *Determinación de la potencia y consumo de combustible en equipos de labranza con tracción mecánica*. *Revista Latinoamericana de Tecnología Agropecuaria*, 11(1), 23–31.
- McKyes, E. (1985). *Soil Cutting and Tillage*. Elsevier.
- MIDAGRI. (2021). *Manual técnico para la evaluación de equipos e implementos agrícolas menores*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Lima, Perú.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego – MIDAGRI. (2021). *Guía metodológica para ensayos de mecanización agrícola y labranza primaria en zonas de ladera*. Lima, Perú.
- Paredes, F., & Castro, D. (2019). *Determinación de la eficiencia de campo y capacidad de trabajo de implementos agrícolas accionados por motocultivadoras*. *Revista Latinoamericana de Ingeniería Agrícola*, 36(3), 51–63
- Paredes, F., & Quiroz, L. (2022). *Relación entre propiedades físicas del suelo y eficiencia del laboreo mecánico en cultivos andinos*. *Revista de Ingeniería Agrícola Latinoamericana*, 41(3), 73–88.
- Pérez, H., & Vargas, C. (2021). *Comparación del desempeño operativo de implementos agrícolas en suelos franco-arenosos*. *Revista de Tecnología Agrícola y Ambiental*, 9(1), 33–47.
- Rodríguez, A., & Gutiérrez, L. (2021). *Caracterización físico-química de suelos agrícolas para la selección de implementos de labranza*. *Revista Agroindustrial Latinoamericana*, 12(1), 43–57.

- Quispe, J., & Huamán, E. (2022). *Diseño experimental en la evaluación de aperos agrícolas menores*. *Revista Científica de Innovación y Tecnología Agraria*, 8(1), 18–29.
- Quispe, J., & Ramos, D. (2022). *Análisis físico del suelo bajo diferentes tipos de arado en condiciones de sierra sur del Perú*. *Revista de Ciencia y Tecnología Agropecuaria del INIA*, 15(2), 45–58.
- Sánchez, P., & Yllescas, M. (2023). *Análisis económico de la labranza con motocultivadoras en zonas semiáridas del Perú*. *Revista Científica Agroindustrial*, 14(2), 79–92.
- SENAMHI. (2022). *Informe técnico climatológico del centro experimental Pampa del Arco, Ayacucho (2000–2020)*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Lima, Perú.
- SENAMHI. (2023). *Boletín climatológico anual: Estación Pampa del Arco (Ayacucho)*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Lima, Perú.
- SENAMHI. (2023). *Boletín agroclimático de la región Ayacucho 2000–2023*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe>
- Singh, G., Kumar, S., & Yadav, R. (2019). Performance evaluation of power tiller-operated ploughs under field conditions. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 21(4), 145–153.
- Singh, S., & Singh, G. (2017). Human energy requirements and agricultural mechanization level in small farms. *Energy in Agriculture*, 4(2), 45–53.
- Srivastava, A. C., Goering, C. E., Rohrbach, R. P., & Buckmaster, D. R. (2006). *Engineering Principles of Agricultural Machines (2nd ed.)*.
- Ramos, C., & Delgado, A. (2020). *Desempeño de arados de vertedera y cincel en suelos de textura media*. *Revista Científica Agropecuaria del Perú*, 13(1), 33–49.

- Ramos, L., & Torres, V. (2020). *Evaluación de parámetros operativos y consumo de potencia en equipos agrícolas de tracción mecánica ligera*. *Revista Agropecuaria Peruana*, 11(2), 25–39.
- Torres, E., & Aguilar, L. (2018). *Efectos de la labranza sobre las propiedades físicas del suelo en cultivos andinos*. *Revista Agropecuaria Peruana*, 10(1), 23–35.
- Torres, V., & Huamán, J. (2019). *Comportamiento del suelo frente a la acción de implementos agrícolas*. *Revista de Tecnología Agrícola Andina*, 14(1), 22–36.
- Torres, J., & Alarcón, M. (2020). *Efecto de la labranza sobre las propiedades físicas del suelo y el desarrollo del cultivo de maíz en la Sierra Central del Perú*. *Revista Agro Andina*, 12(3), 41–52. <https://doi.org/10.xxxx/raa.2020.12.3.41>
- Vargas, P., & Huamán, E. (2022). *Análisis económico de operaciones de labranza con motocultivadoras en suelos francoarenosos de Ayacucho*. *Boletín Técnico del INIA Ayacucho*, (18), 1–15.

ANEXOS

ANEXO A:

Panel Fotográfico

Figura 1

Revisión y preparación de la motocultivadora para las pruebas de campo

**Figura 2**

Ajuste y montaje del implemento de arado en la motocultivadora



Figura 3

Desplazamiento de la motocultivadora durante las pruebas de funcionamiento

**Figura 4**

Medición de las dimensiones del arado japonés



Figura 5

Medición del ancho de trabajo del surcador

**Figura 6**

Ejecución del trabajo de campo con la motocultivadora



Figura 7

Medición de la fuerza de tracción del surcador con dinamómetro

**Figura 8**

Medición de la fuerza de tracción del arado japonés con dinamómetro



Figura 9

Medición del combustible para el cálculo del consumo horario

**Figura 10**

Registro del volumen de combustible para evaluar el consumo específico



ANEXO B:

Análisis de caracterización



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL 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 Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana”

Región : Ayacucho
 Provincia : Huamanga
 Distrito : Ayacucho
 Localidad : Pampa del Arco
 Proyecto : TESIS: “Evaluación de dos modelos de arado con motocultivadora DUCATI DTL 18000 en la labranza primaria de suelos, Ayacucho - 2025”
 Solicitante : Ronald Quispe Rupay

HR: 00362

ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN

Muestra	Análisis mecánico (%)		Clase	pH (H ₂ O)	C. E. (dS/m.)	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos Disp. (ppm)					Cationes cambiabiles (Cmol(+) / Kg)					C. I. C. (Cmol(+) / Kg)
	Arena	Limo							Arcilla	P	K	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺	H ⁺		
01	53.3	25.0	21.7	8.34	1.06	7.0	2.87	0.14	5.2	196.4	8.52	1.24	0.99	0.82	0.0	0.0	19.2		

Ayacucho, 17 de Junio del 2025.

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS,
 PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES
 RESPONSABLE

Juan B. Girón Molina
 C.I.P. 77120

Ao: Arenoso; AoFr: Arena franca; FrAo: Franco arenoso; Fr: Franco; FrL: Franco limoso; L: Limoso; FrArAo: Franco arcillo arenoso; FrAr: Franco arcilloso; FrAr: Franco arcillosos; 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 1N, relación 1:2.5
4. Calcio total (CaCO₃): método volumétrico o gaso-volumétrico utilizando un calcímetro.
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 Sodio (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. Ca²⁺, Mg²⁺, 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 KClN
12. Iones solubles:
 - a) Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ solubles: fotometría de llama y/o absorción atómica.
 - b) Cl⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻, NO₃⁻ solubles: volumetría y colorimetría, SO₄²⁻ 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
* bajo	< 2.0	< 12.0	< 100
* medio	2 - 4	12.0 - 18.0	100 - 240
* alto	> 4.0	> 18.0	> 240

Relaciones Cationicas			
Clasificación	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 %		% Calcio Total
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:

Registros de campo y procesamiento de datos técnicos y estadísticos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

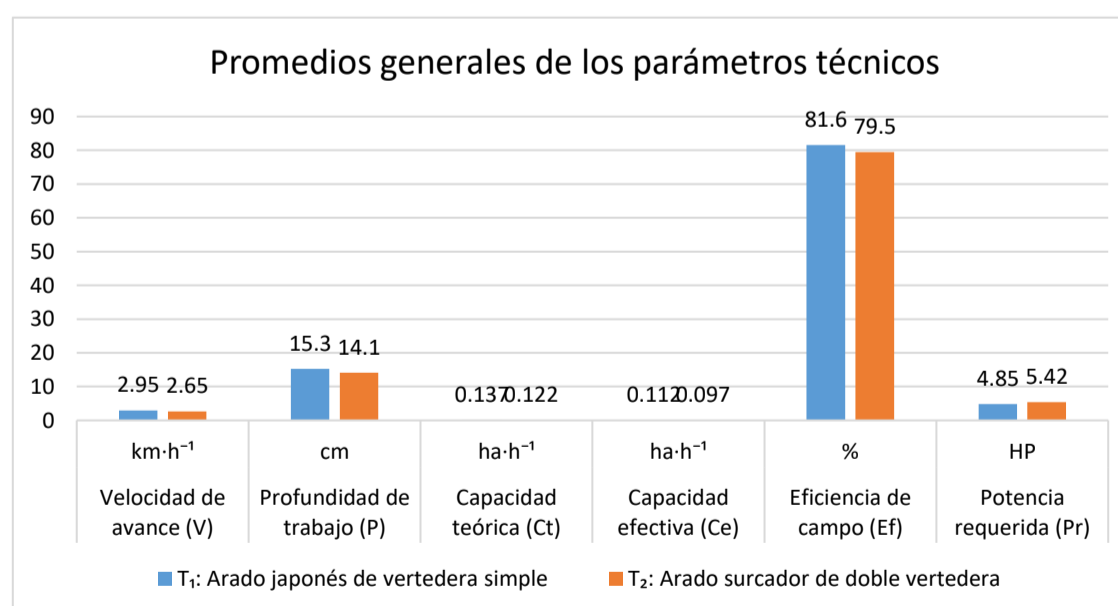
TESIS: Evaluación de dos modelos de arado con motocultivadora DUCATI DTL 13000 en la labranza primaria de suelos, Ayacucho - 2025

Resultados: Parámetros técnicos de labranza

Parámetro técnico	Unidad	T ₁ Arado japonés de vertedera simple			T ₂ Arado surcador de doble vertedera		
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3
Tiempo muerto	s	5.75	5.27	5.50	7.36	6.58	7.01
Tiempo	s	24.83	24.00	24.41	27.69	26.67	27.17
Distancia	m	20	20	20	20	20	20
Velocidad de avance (V)	m·s ⁻¹	0.81	0.83	0.82	0.72	0.75	0.74
Velocidad de avance (V)	km·h ⁻¹	2.9	3	2.95	2.6	2.7	2.65
Profundidad de trabajo (P)	cm	15.1	15.4	15.3	14	14.3	14.1
Ancho de labor	m	0.47	0.46	0.46	0.47	0.46	0.46
Capacidad teórica (CTC)	ha·h ⁻¹	0.136	0.139	0.137	0.121	0.123	0.122
Capacidad efectiva (CEC)	ha·h ⁻¹	0.11	0.113	0.112	0.095	0.098	0.097
Eficiencia de campo (Ec)	%	81.2	82	81.6	79	80.2	79.5
Potencia requerida (Pr)	HP	4.8	4.9	4.85	5.35	5.48	5.42

Promedio

Parámetro técnico	Unidad	T ₁ : Arado japonés de vertedera simple	T ₂ : Arado surcador de doble vertedera
Velocidad de avance (V)	km·h ⁻¹	2.95	2.65
Profundidad de trabajo (P)	cm	15.3	14.1
Capacidad teórica (Ct)	ha·h ⁻¹	0.137	0.122
Capacidad efectiva (Ce)	ha·h ⁻¹	0.112	0.097
Eficiencia de campo (Ef)	%	81.6	79.5
Potencia requerida (Pr)	HP	4.85	5.42



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

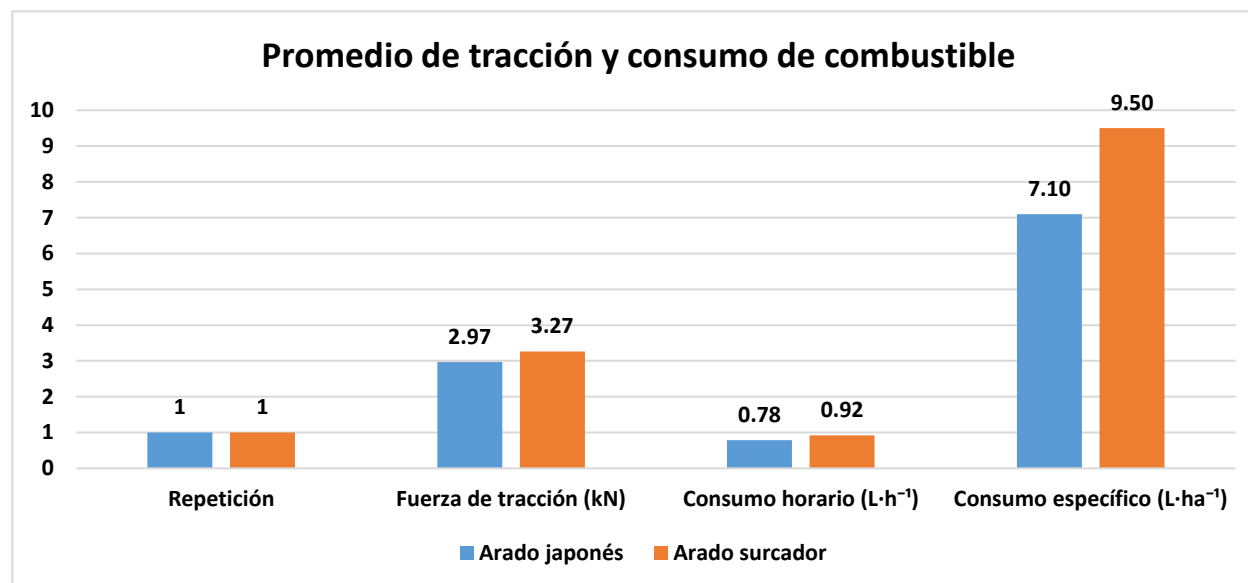
TESIS: Evaluación de dos modelos de arado con motocultivadora DUCATI DTL 13000 en la labranza primaria de suelos, Ayacucho - 2025

Resultados: Evaluación de la fuerza de tracción y consumo de combustible

Tratamiento	Repetición	Fuerza de tracción (kN)	Consumo horario (L·h ⁻¹)	Consumo específico (L·ha ⁻¹)
Arado japonés	1	2.95	0.78	7
Arado japonés	2	3	0.79	7.2
Arado japonés	3	2.96	0.78	7.1
Arado surcador	1	3.25	0.91	9.4
Arado surcador	2	3.28	0.93	9.6

Promedio

Tratamiento	Repetición	Fuerza de tracción (kN)	Consumo horario (L·h ⁻¹)	Consumo específico (L·ha ⁻¹)
Arado japonés	1	2.97	0.78	7.10
Arado surcador	1	3.27	0.92	9.50



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS: Evaluación de dos modelos de arado con motocultivadora DUCATI DTL 13000 en la labranza primaria de suelos, Ayacucho - 2025

Resultados: Eficiencia energética de los tratamientos

→ Eficiencia energética de los tratamientos

Parámetro	Unidad	T ₁ : Arado japonés de vertedera simple	T ₂ : Arado surcador de doble vertedera
Consumo de combustible	L·h ⁻¹	0.78	0.92
Consumo específico de energía (CEE)	MJ·ha ⁻¹	27.9	32.8
Energía útil entregada al suelo (Eu)	MJ·ha ⁻¹	22.4	23.1
Energía total consumida (Ec)	MJ·ha ⁻¹	27.9	32.8
Eficiencia energética (η _e)	%	80.3	70.4

→ Análisis energético complementario de los tratamientos

Indicador energético	Unidad	T ₁ : Arado japonés de vertedera simple	T ₂ : Arado surcador de doble vertedera	Interpretación técnica
Consumo horario de combustible (Ch)	L·h ⁻¹	0.78	0.92	El T ₁ presenta menor consumo horario, indicando menor esfuerzo de tracción.
Consumo específico de combustible (Ce)	L·ha ⁻¹	7.1	9.5	El T ₁ muestra una reducción del 25 % en consumo específico respecto al T ₂ .
Energía efectiva empleada (Ee)	MJ·ha ⁻¹	22.4	23.1	Ambos tratamientos entregan similar energía útil al suelo.
Energía total consumida (Ec)	MJ·ha ⁻¹	27.9	32.8	Mayor consumo energético total en T ₂ por incremento de resistencia al avance.
Eficiencia energética (η _e)	%	80.3	70.4	El T ₁ aprovecha mejor la energía del combustible, con una eficiencia 9.9 % superior.
Velocidad de avance (V)	m·s ⁻¹	0.82	0.74	Promedio de velocidad en m·s ⁻¹
Potencia útil desarrollada (Pu)	HP	4.85	5.42	Mayor potencia requerida por el arado surcador debido a mayor volumen de suelo movilizado.
Relación energía consumida / potencia útil	MJ·HP ⁻¹	5.75	6.05	El T ₁ requiere menos energía por unidad de potencia útil, reflejando mejor desempeño termodinámico.

$$\eta_e = \frac{Eu}{Ec} \times 100$$

Donde:

Eu: Energía útil o de labranza (MJ·ha⁻¹)

Ec: Energía consumida por combustible (MJ·ha⁻¹)

$$Pu = \frac{F \cdot v}{1000}$$

Donde:

Pu: Potencia útil (kW)

Ec: Energía consumida por combustible (MJ·ha⁻¹)

v: Velocidad de avance ($\frac{m}{s}$)

El factor 1000 convierte $kN \cdot \frac{m}{s}$ en kW

1kW = 1.341 HP

$$\text{Relación energía} = \frac{\text{Energía total consumida}}{\text{Potencia útil}}$$

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS: Evaluación de dos modelos de arado con motocultivadora DUCATI DTL 13000 en la labranza primaria de suelos, Ayacucho - 2025

Resultados: Efectos físicos del laboreo sobre el suelo

Parámetro	Unidad	Valor promedio	Clasificación / Interpretación	Método de análisis
Textura	—	Franco arenosa	Buen drenaje y aireación	Método de Bouyoucos (hidrómetro)
Densidad aparente	g cm ⁻³	1.38	Moderadamente suelta	Método del cilindro de volumen conocido (Blake & Hartge, 1986)
Humedad gravimétrica	%	18	Óptima para labranza	Secado en estufa a 105 °C (Gravimétrico)
Porosidad total	%	48	Alta	Cálculo a partir de densidad aparente y real
pH (1:2.5 en H ₂ O)	—	8.34	Ligeramente alcalino	Potenciométrico (electrodo de vidrio)
Conductividad eléctrica (CE)	dS m ⁻¹	1.06	No salino	Conductímetro (extracto de saturación)
Materia orgánica (MO)	%	2.87	Media	Oxidación húmeda (Walkley & Black, 1934)
Nitrógeno total (N)	%	0.14	Bajo	Método Kjeldahl (AOAC, 1990)
Fósforo disponible (P)	mg kg ⁻¹	5.2	Medio	Método Olsen (NaHCO ₃ 0.5 M, pH 8.5)
Potasio intercambiable (K)	cmol(+) kg ⁻¹	196.4	Medio	Extracción con acetato de amonio (1 N, pH 7.0)
Calcio (Ca)	cmol(+) kg ⁻¹	8.52	Alto	Extracción con acetato de amonio
Magnesio (Mg)	cmol(+) kg ⁻¹	1.24	Medio	Extracción con acetato de amonio
Sodio (Na)	cmol(+) kg ⁻¹	0.82	Bajo	Extracción con acetato de amonio
Hierro (Fe)	mg kg ⁻¹	32	Adecuado	DTPA (ácido dietilentriaminopentaacético)
Zinc (Zn)	mg kg ⁻¹	1.2	Ligeramente deficiente	DTPA
Manganeso (Mn)	mg kg ⁻¹	12.5	Adecuado	DTPA
Cobre (Cu)	mg kg ⁻¹	1.6	Adecuado	DTPA

Resultados: Humedad gravimétrica y estabilidad estructural

Propiedad física del suelo	Unidad	Antes del laboreo	T ₁ : Arado japonés	T ₂ : Arado surcador	Variación T ₁ (%)	Variación T ₂ (%)
Densidad aparente	g·cm ⁻³	1.38	1.29	1.33	-9	-5
Porosidad total	%	48	51.3	49.8	3.3	1.8
Resistencia a la penetración	MPa	1.65	1.1	1.22	-55	-43
Humedad gravimétrica	%	18	29.5	28.7	11.5	10.7
Estabilidad estructural	%	100	106	104	6	4

Resultados: Humedad gravimétrica y estabilidad estructural

Parámetro operativo	Unidad	T ₁ : Arado japonés	T ₂ : Arado surcador	Diferencia (%)	Referencia técnica
Capacidad de trabajo	ha·h ⁻¹	0.118	0.105	12.3	INIA (2020)
Velocidad efectiva	km·h ⁻¹	3.42	3.15	8.6	FAO Perú (2022)
Patinaje	%	7.8	9.6	-18.8	FAO (2019)
Profundidad efectiva	cm	14.2	15.8	-10.1	INIA (2021)
Uniformidad de profundidad (CV)	%	6.5	9.1	40	SENAMHI (2022)
Régimen promedio del motor	rpm	2800	2790	≈0	Elaboración propia (2025)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS: Evaluación de dos modelos de arado con motocultivadora DUCATI DTL 13000 en la labranza primaria de suelos, Ayacucho - 2025

DATOS GENERALES DE LA MAQUINA (ARADO JAPONES)

Valor de adquisición (Va)	=	s/.	6,750.00
Vida Econica Util (VEU)	=		5.00 años
Hora efectiva			1000 horas
Valor de rescate (Vr) = 20% de Va	=	s/.	1,350.00
Potencia	=		13.00 HP

1.-CALCULO DEL COSTO HORARIO DE POSESION (DEPRECIACION - INTERES DE CAPITAL INVERTIDO IMPUESTOS - SEGUROS Y ALMACENAJE)

Costo horario de la depreciación

Depreciación = (Va - Vr) / VEU	=	s/.	1,080.00 Por año
			1.08 Por hora

Calculo de la Inversión Anual : IMA

IMA = (Va (n+1) + Vr (n-1)) / 2n	=	s/.	4,590.00
----------------------------------	---	-----	----------

Costo horario del Interés de Capital Invertido

Tasa Activa en Moneda Nacional: TAMIN

TAMIN	=		10.00 %
-------	---	--	---------

Interes de capital Invertido = (IMA * TAMIN)/HORA EFECTIVA

InterEs de capital Invertido	=	s/.	0.46 Por hora
------------------------------	---	-----	---------------

Costo horario de los seguros, Impuestos y Almacenaje.

Los siguientes datos son tasas promedios anuales

Seguros :	=		2.5 %
Impuestos:	=		2 %
Almacenaje:	=		1 %
Total :	=		5.5 %

Seguros, Impuesto y Almacenaje = (IMA * (Σ de Tasas anuales)) / # de horas anuales

Seguros, Impuesto y Almacenaje	=		0.37 Por hora
--------------------------------	---	--	---------------

Total Costo Horario de Posesion = Depreciacion + Intereses + Seguros, Impuestos y Almacenaje

Total Costo Horario de Posesion	=		1.91 Por hora
---------------------------------	---	--	---------------

2.- CALCULO DEL COSTO HORARIO DE OPERACT'N (MANTENIMIENTO Y REPARACION + COMBUSTIBLE + LUBRICANTES + FILTROS + GRASAS + PIEZAS DE DESGASTE + HERRAMIENTAS DE CORTE + NEUMATICOS + OPERADOR DE EQUIPO ESPECIALIZADO)

DATOS GENERALES

Combsutibles + lubricante+ filtro	=	3.43	Gal/h
-----------------------------------	---	------	-------

Operador	=	6	hh
----------	---	---	----

CALCULO DEL COSTO DE MANTENIMIENTO Y REPARACION (CMR)

Costo de mantenimiento = 18 % del valor de adquisicion

Costo de mantenimiento	=	s/.	1,215.00
------------------------	---	-----	----------

a) Costo de mano de obra = 25 % Costo de mantenimiento / HE

Costo de mano de obra	=	s/.	0.30 Por hora
-----------------------	---	-----	---------------

b) Costo de reparaciones = 75% Costo de mantenimiento / HE

Costo de reparaciones	=	s/.	0.91 Por hora
-----------------------	---	-----	---------------

Costo de mantenimiento y reparacion = Costo de mano de obra + Costo de reparaciones

Costo de mantenimiento y reparaciUn	=	s/.	1.2 Por hora
-------------------------------------	---	-----	--------------

Costo horario total (sin IGV)	=	s/.	11.73 Por hora
--------------------------------------	---	------------	-----------------------

Capacidad efectiva de campo (CEC)			0.112 ha/h
-----------------------------------	--	--	------------

Costo por hectaria	=	s/.	104.69
---------------------------	---	------------	---------------

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TESIS: Evaluación de dos modelos de arado con motocultivadora DUCATI DTL 13000 en la labranza primaria de suelos, Ayacucho - 2025

DATOS GENERALES DE LA MAQUINA (ARADO SURCADOR)

Valor de adquisición (Va)	=	s/.	6,750.00
Vida Econica Util (VEU)	=		5.00 años
Hora efectiva			1000 horas
Valor de rescate (Vr) = 20% de Va	=	s/.	1,350.00
Potencia	=		13.00 HP

1.- CALCULO DEL COSTO HORARIO DE POSESION (DEPRECIACION - INTERES DE CAPITAL INVERTIDO IMPUESTOS - SEGUROS Y ALMACENAJE)

Costo horario de la depreciación

Depreciación = (Va - Vr) / VEU	=	s/.	1,080.00 Por año
			1.08 Por hora

Calculo de la Inversión Anual : IMA

IMA = (Va (n+1) + Vr (n-1)) / 2n	=	s/.	4,590.00
----------------------------------	---	-----	----------

Costo horario del Interés de Capital Invertido

Tasa Activa en Moneda Nacional: TAMIN

TAMIN	=		10.00 %
-------	---	--	---------

Interes de capital Invertido = (IMA * TAMIN)/HORA EFECTIVA

InterEs de capital Invertido	=	s/.	0.46 Por hora
------------------------------	---	-----	---------------

Costo horario de los seguros, Impuestos y Almacenaje.

Los siguientes datos son tasas promedios anuales

Seguros :	=		2.5 %
Impuestos:	=		2 %
Almacenaje:	=		1 %
Total :	=		5.5 %

Seguros, Impuesto y Almacenaje = (IMA * (Σ de Tasas anuales)) / # de horas anuales

Seguros, Impuesto y Almacenaje	=		0.37 Por hora
--------------------------------	---	--	---------------

Total Costo Horario de Posesion = Depreciacion + Intereses + Seguros, Impuestos y Almacenaje

Total Costo Horario de Posesion	=		1.91 Por hora
---------------------------------	---	--	---------------

2.- CALCULO DEL COSTO HORARIO DE OPERACT'N (MANTENIMIENTO Y REPARACION + COMBUSTIBLE + LUBRICANTES + FILTROS + GRASAS + PIEZAS DE DESGASTE + HERRAMIENTAS DE CORTE + NEUMATICOS + OPERADOR DE EQUIPO ESPECIALIZADO)

DATOS GENERALES

Combsutibles + lubricante+ filtro	=	4.05	Gal/h
-----------------------------------	---	------	-------

Operador	=	6	hh
----------	---	---	----

CALCULO DEL COSTO DE MANTENIMIENTO Y REPARACION (CMR)

Costo de mantenimiento = 18 % del valor de adquisicion

Costo de mantenimiento	=	s/.	1,215.00
------------------------	---	-----	----------

a) Costo de mano de obra = 25 % Costo de mantenimiento / HE

Costo de mano de obra	=	s/.	0.30 Por hora
-----------------------	---	-----	---------------

b) Costo de reparaciones = 75% Costo de mantenimiento / HE

Costo de reparaciones	=	s/.	0.91 Por hora
-----------------------	---	-----	---------------

Costo de mantenimiento y reparacion = Costo de mano de obra + Costo de reparaciones

Costo de mantenimiento y reparaciUn	=	s/.	1.2 Por hora
-------------------------------------	---	-----	--------------

Costo horario total (sin IGV)	=	s/.	12.35 Por hora
--------------------------------------	---	------------	-----------------------

Capacidad efectiva de campo (CEC)			0.097 ha/h
-----------------------------------	--	--	------------

Costo por hectaria	=	s/.	127.27
---------------------------	---	------------	---------------

ANEXO D:

Ficha Técnica motoazada

DTL 13000

MOTOAZADA DTL13000

DUCATI



Incluye:



Ruedas Agrícolas



Juego de fresas

MOTOR

Potencia	Motor	Cilindraje	Tipo de combustible	Tipo de arranque	Capacidad de combustible
13Hp	4T - OHV	389cc	Gasolina	Retractable Manual	6.5L
Tipo de aceite	Capacidad de aceite	Filtro de aire			
20w50	1.65L	Baño de aceite			

TRANSMISIÓN

Tipo	Velocidades	Embrague	Tipo de aceite	Capacidad de aceite
Directa por engranajes	4 adelante 2 atras	Multidiscos de fricción	15w40	1.1L

GENERAL

No cuchillas	Ancho de trabajo	Profundidad	Manillar	Medida llantas	Toma de fuerza	Presión de aire ruedas
40	80-100 120-150cm	36cm	Regulable en altura reversible	540 x 120mm	Si	29 P.S.I

*Las fotografías son ilustrativas - *Válidez de la oferta: 10 días hábiles.



Official
Licensed
Product

INFORMACIÓN ADICIONAL

Dimensiones (L*An*Al)	Peso	Manufactura	Garantía
135 x 180 x 105cm	135Kg	Licencia Ducati, fabricación China	12 meses por defectos de fabricación, 3 meses por cuchillas
Accesorios incluidos			
Manual de usuario - kit de herramienta básico - 2 ruedas neumáticas para transporte - juego de cuchillas y barra control de profundidad.			

DIMENSIONES EMBALAJE



IMPLEMENTOS ADICIONALES (La motoazada no incluye estos implementos)



Aporcador



Arado fijo



Cultivador extensible



Fresas de profundidad



Bomba de Fumigación



Barra Segadora



Cosechadora

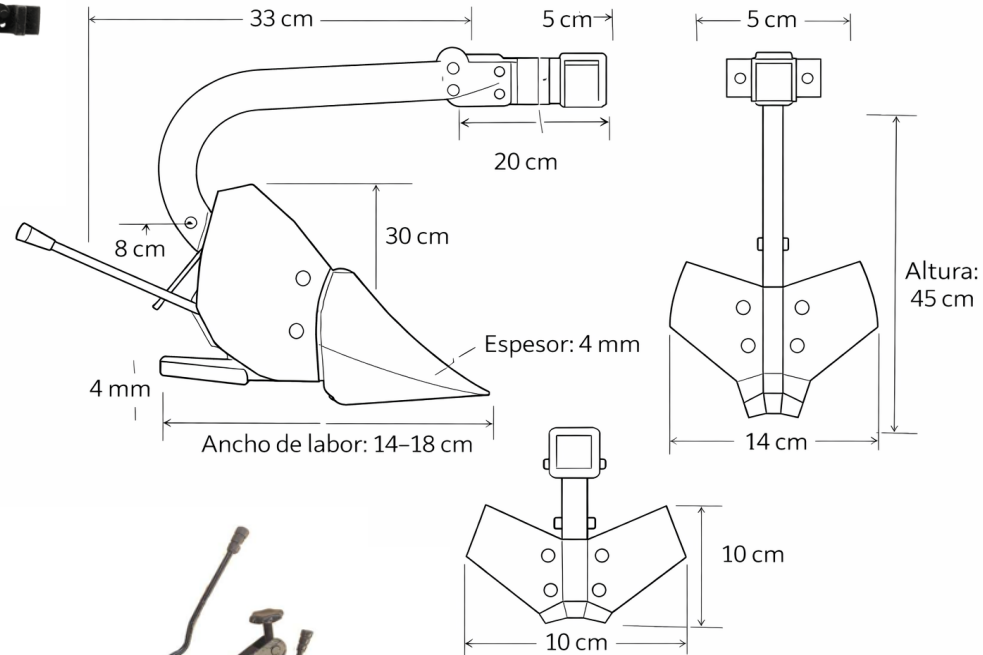


Rotovator

ANEXO E:

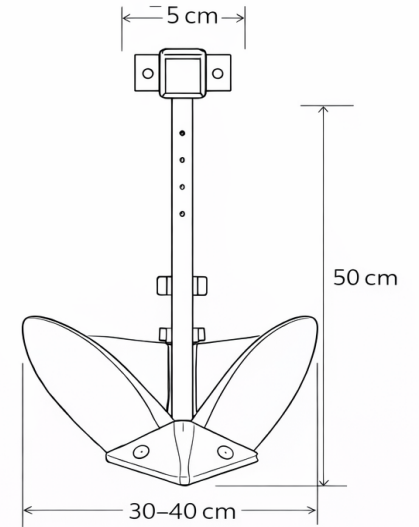
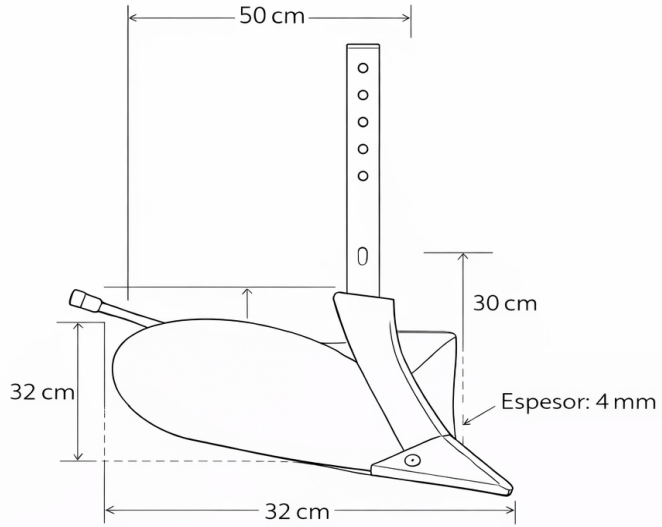
Planos

DETALLES DE MOTOCULTIVADORA E IMPLEMENTO AGRÍCOLA (ARADO JAPONES).



	UNSCH UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA. FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS. ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA.		LÁMINA: 01	
	TESIS: EVALUACIÓN DE DOS MODELOS DE ARADO CON MOTOCULTIVADORA DUCATI DTL 13000 EN LA LABRANZA PRIMARIA DE SUELOS, AYACUCHO - 2025.			ESCALA INDICADA: JUN 2025
TEMA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN			CÓDIGO: 21162117	
ESPECIALIDAD: MECANIZACIÓN	PLANO: PLANTA, PERFIL Y FRONTAL		DIBUJO: RQR	
ALUMNO: RONALD QUISPE RUPAY			ASESOR: ING. FEDERICO QUICAÑO SUAREZ.	

DETALLES DE MOTOCULTIVADORA E IMPLEMENTO AGRÍCOLA (SURCADORA).



	UNSCH	UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA. FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS. ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA.	
	TESIS: EVALUACIÓN DE DOS MODELOS DE ARADO CON MOTOCULTIVADORA DUCATI DTL 13000 EN LA LABRANZA PRIMARIA DE SUELOS, AYACUCHO - 2025.	LÁMINA: 02	
TEMA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN			
ESPECIALIDAD: MECANIZACIÓN	PLANO: PLANTA, PERFIL Y FRONTAL	ESCALA INDICADA	FECHA JUN 2025
ALUMNO: RONALD QUISPE RUPAY		CÓDIGO: 21162117	
DIBUJO: RQR	ASESOR: ING. FEDERICO QUICAÑO SUAREZ.		



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Bach. RONALD QUISPE RUPAY


R.D. N° 485-2025-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho a los veintitrés días del mes de diciembre del año dos mil veinticinco, siendo las diez 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 el Ing. Juan Benjamín Girón Molina, M.Sc. Federico Quicaño Suárez como asesor, Ing. John Samuel Cazorla Orihuela y el Ing. Edgar Tenorio Mancilla; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Evaluación de dos modelos de arado con motocultivadora DUCATI DTL 13000 en la labranza primaria de suelos, Ayacucho - 2025**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el Bachiller **RONALD QUISPE RUPAY**.

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
Ing. Juan Benjamín Girón Molina	16	15	16	16
M.Sc. Federico Quicaño Suárez	16	16	16	16
Ing. John Samuel Cazorla Orihuela	14	14	14	14
Ing. Edgar Tenorio Mancilla	16	16	16	16
PROMEDIO GENERAL				16

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


.....
Ing. Juan Benjamín Girón Molina
Presidente


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


.....
Ing. John Samuel Cazorla Orihuela
Jurado


.....
Ing. Edgar Tenorio Mancilla
Jurado


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



UNSCH

FACULTAD DE CIENCIAS
AGRARIAS

CONSTANCIA DE CONTROL DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El que suscribe, miembro de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de **TESIS** de la Facultad de Ciencias Agrarias, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, autorizado por la R.D N° 213-2025-UNSCH-FCA-D; hace constar que el trabajo titulado:

Evaluación de dos modelos de arado con motocultivadora DUCATI DTL 13000 en la labranza primaria de suelos, Ayacucho - 2025

Autor : Ronald QUISPE RUPAY
Asesor : Federico QUICAÑO SUAREZ

Ha sido sometido al control de originalidad mediante el software TURNITIN UNSCH, acorde al Reglamento de originalidad de trabajos de tesis, aprobando mediante de RCU 039-2021-UNSCH-CU, arrojando un resultado de cinco por ciento **(5%)** de índice de similitud, realizado con **depósito de trabajo estándar**.

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

Nota: Se adjunta el resultado con identificador de la entrega: 2852066140

Ayacucho, 31 de diciembre de 2025

.....
Angela J. Requis Quintanilla

M.Sc. en Fitopatología

E.P. Agronomía

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga

Evaluación de dos modelos de arado con motocultivadora DUCATI DTL 13000 en la labranza primaria de suelos, Ayacucho - 2025

por Ronald QUISPE RUPAY

Fecha de entrega: 31-dic-2025 09:25a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2852066140

Nombre del archivo: TESIS RONALD QUISPE RUPAY.pdf (11.57M)

Total de palabras: 24451

Total de caracteres: 140395

Evaluación de dos modelos de arado con motocultivadora DUCATI DTL 13000 en la labranza primaria de suelos, Ayacucho - 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

2%

2

www.dspace.uce.edu.ec

Fuente de Internet

1%

3

baixardoc.com

Fuente de Internet

1%

4

idoc.pub

Fuente de Internet

<1%

5

repositorio.chapingo.edu.mx

Fuente de Internet

<1%

6

repositorio.uncp.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

7

hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1%

8

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1%

9

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 40 words

Excluir bibliografía

Activo

Evaluación de dos modelos de arado con motocultivadora DUCATI DTL 13000 en la labranza primaria de suelos, Ayacucho – 2025

Ronald Quispe Rupay1
Federico Quicaño Suarez
Area de investigación: Biotecnología
Línea de investigación: Infraestructura y Mecanización Agrícola
ronald.quispe.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

La mecanización agrícola en pequeñas parcelas agrícolas de la sierra del Perú constituye un reto especial, debido a que fundamentalmente se debe mejorar la eficiencia de la labranza primaria y secundaria que hasta la fecha aún se viene realizando con herramientas manuales tradicionales y la tracción animal con arado de palo; donde el laboreo por las condiciones de pendiente, textura del suelo y fragmentación parcelaria limitan el uso de tractores convencionales. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el desempeño operativo, la eficiencia energética y el efecto físico del laboreo de dos modelos de arado; una de vertedera japonés y otro surcador de doble vertedera, acoplados a la motocultivadora DUCATI DTL 13000 para la labranza primaria de un suelo franco arenoso en el Programa de Investigación en Pastos y Ganadería de la región Ayacucho, Perú.

La investigación se desarrolló bajo un diseño completamente al azar con dos tratamientos y tres repeticiones, empleando métodos normalizados de determinación de velocidad de avance, capacidad de campo, consumo horario y específico de combustible, y análisis físico-químico del suelo. Se evaluaron la fuerza de tracción, la eficiencia energética, el consumo de potencia útil y los cambios en la densidad aparente y porosidad del suelo, complementados con un análisis económico de los costos de operación por unidad de superficie.

Los resultados demostraron que el arado de vertedera japonés alcanzó mayor eficiencia energética (12 % superior), menor consumo específico de combustible (1.82 L h⁻¹ frente a 2.05 L h⁻¹) y mejor calidad del volteo del suelo, con densidades finales de 1.34 g/cm³ y porosidad de 49.6 %. Asimismo, presentó un costo total por hectárea de S/. 104.69, inferior al del arado surcador (S/. 127.27).

En conclusión, la combinación del arado de vertedera japonés con la motocultivadora DUCATI DTL 13000 constituye una alternativa técnica y económicamente viable para la labranza primaria en suelos de textura media y humedad óptima de la región Ayacucho, contribuyendo a la eficiencia energética y sostenibilidad de la mecanización agrícola local.

Palabras clave: motocultivadora, arado de vertedera, arado surcador, eficiencia energética, labranza primaria.

ABSTRACT

Agricultural mechanization on small farms in the Peruvian highlands presents a particular challenge, primarily because it requires improving the efficiency of primary and secondary tillage, which to date is still carried out using traditional hand tools and animal traction with stick plows. Tillage conditions such as slope, soil texture, and fragmented plots limit the use of conventional tractors. This study aimed to evaluate the operational performance, energy efficiency, and physical effects of tillage using two plow models: a Japanese moldboard plow and a double-moldboard furrower, both coupled to a DUCATI DTL 13000 two-wheel cultivator for the primary tillage of a sandy loam soil at the Research Program in Pastures and Livestock, Ayacucho region, Peru.

The research was conducted using a completely randomized design with two treatments and three replications, employing standardized methods for determining forward speed, field capacity, hourly and specific fuel consumption, and physicochemical analysis of the soil. Traction force, energy efficiency, useful power consumption, and changes in soil bulk density and porosity were evaluated, complemented by an economic analysis of operating costs per unit area.

The results demonstrated that the Japanese moldboard plow achieved greater energy efficiency (12% higher), lower specific fuel consumption (1.82 L h^{-1} vs. 2.05 L h^{-1}), and better soil turning quality, with final densities of 1.34 g/cm^3 and porosity of 49.6%. Furthermore, it presented a total cost per hectare of S/. 104.69, lower than that of the furrow plow (S/. 127.26).

In conclusion, the combination of the Japanese moldboard plow with the DUCATI DTL 13000 tiller constitutes a technically and economically viable alternative for primary tillage in the medium-textured soils with optimal moisture levels in the Ayacucho region, contributing to the energy efficiency and sustainability of local agricultural mechanization.

Keywords: tiller, moldboard plow, furrow plow, energy efficiency, primary tillage.

INTRODUCCIÓN

La mecanización agrícola es un factor clave para mejorar la productividad, eficiencia energética y sostenibilidad de los sistemas agropecuarios, especialmente en contextos de agricultura familiar. La FAO (2021) señala que una mecanización apropiada permite reducir la demanda de mano de obra y optimizar el uso de los recursos disponibles. En este marco, la labranza primaria constituye una etapa fundamental en la preparación del suelo, orientada a mejorar sus condiciones físicas y favorecer el desarrollo de los cultivos. La eficiencia de esta labor depende del tipo de implemento de labranza y de su adecuada compatibilidad con el equipo motriz (Hunt & Wilson, 2020).

En regiones andinas como Ayacucho, las limitaciones topográficas y la fragmentación de las parcelas agrícolas restringen el uso de maquinaria convencional, lo que ha impulsado el uso de motocultivadoras como alternativa de mecanización ligera. Estudios previos indican que la combinación adecuada entre motocultivadora e implementos de labranza mejora la eficiencia operativa y reduce el consumo energético (Singh et al., 2019); sin embargo, la diversidad de modelos de arados disponibles requiere evaluaciones comparativas bajo condiciones locales.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar y comparar el desempeño técnico-operativo, la eficiencia de trabajo y la rentabilidad económica de un arado de vertedera japonés y un arado surcador de doble vertedera, ambos accionados por una motocultivadora DUCATI DTL 13000, durante la labranza primaria de suelos en Ayacucho.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se desarrolló en el Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, ubicado en el distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, Perú, a una altitud aproximada de 2 750 m s. n. m., en las coordenadas UTM WGS 84, zona 18L (E: 584 544.86 m; N: 8 545 450.82 m). La zona presenta un clima templado subhúmedo de montaña, con una temperatura media anual de 16,7 °C y una precipitación promedio anual de 575 mm, concentrada principalmente entre los meses de diciembre y marzo (SENAMHI, 2023). El área pertenece a la región ecológica quechua y presenta suelos de textura francoarenosa, pH moderadamente alcalino y bajo contenido de materia orgánica, condiciones representativas de los sistemas agrícolas altoandinos.

Condiciones Experimentales

La calibración de la motocultivadora DUCATI DTL 13000 y de los implementos evaluados se realizó en laboratorio, mientras que las pruebas de campo se desarrollaron en una parcela experimental del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, en Ayacucho, Perú, a una altitud aproximada de 2 750 m s. n. m. El suelo presentó textura francoarenosa, con densidad aparente promedio de 1,38 g cm⁻³ y contenido de humedad de 18 % durante la labranza. Desde el punto de vista químico, se registró un pH moderadamente alcalino (8,34) y bajo contenido de materia orgánica (0,8 %), condiciones representativas de suelos agrícolas altoandinos.

Materiales

Software

- AutoCAD 2020
- Microsoft Word
- Microsoft Excel

Equipos de campo

- Motocultivadora DUCATI DTL 13000
- Arado de vertedera japonés
- Arado surcador de doble vertedera
- Dinamómetro, para la medición de la fuerza de tiro.
- Cronómetro, para registrar el tiempo de operación.
- Balanza, para determinación de humedad del suelo.
- Flexómetro de 5 m.
- Wincha de 50 m.

Herramientas

- Cordel y sogas.
- Yeso
- Estacas
- Zapapico.
- Comba.
- Herramientas menores para ajuste y mantenimiento de los equipos.

Diseño experimental y variables evaluadas

El estudio se desarrolló bajo un Diseño Completamente al Azar, con dos tratamientos correspondientes a los modelos de arado evaluados (vertedera japonesa y surcador de doble vertedera) y tres repeticiones por tratamiento, totalizando seis unidades experimentales. Cada unidad experimental correspondió a una parcela individual trabajada con la motocultivadora DUCATI DTL 13000 bajo condiciones operativas estandarizadas.

Se evaluaron variables operativas y de desempeño, tales como velocidad de avance, ancho y profundidad de trabajo, capacidad efectiva de campo y consumo de combustible. Asimismo, se analizaron variables energéticas relacionadas con el requerimiento de potencia y la eficiencia energética del sistema de labranza, así como variables físicas del suelo antes y después de la labor. Finalmente, se estimaron indicadores económicos asociados a los costos operativos y la rentabilidad de cada tratamiento.

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA), previa verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas, empleando un nivel de significancia de 0,05. Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey.

Parámetros técnicos y agrotécnicos

- a. **Velocidad de avance:** La velocidad de avance ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) se determinó mediante el registro del tiempo empleado para recorrer una distancia conocida durante cada pasada de trabajo.
- b. **Profundidad de trabajo:** La profundidad efectiva de trabajo del arado se midió durante la labranza primaria y se expresó en centímetros (cm).
- c. **Capacidad teórica de campo:** Expresa la superficie que podría cubrirse en una hora de trabajo continuo y sin pérdidas

$$\text{CTC} = \frac{A \times V_a}{10}$$

Donde:

CTC = capacidad teórica de campo ($\text{ha}\cdot\text{h}^{-1}$)

A = ancho de trabajo (m)

V_a = velocidad de avance ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)

- d. **Capacidad efectiva de campo:** Superficie realmente trabajada por hora, considerando todas las pérdidas operativas.

$$\text{CEC}(\text{ha/h}) = \frac{\text{CTC} \times \text{EFC}}{100}$$

- e. **Eficiencia de campo:** Aprovechamiento del tiempo real operativo respecto al teórico.

$$\text{EFC}(\%) = \frac{\text{CEC}}{\text{CTC}} \times 100$$

- f. **Potencia requerida:** representa la energía necesaria para vencer la resistencia al avance del implemento durante la labor.

$$Pr = \frac{Rt \times Va}{3.6}$$

Donde:

Pr = potencia requerida (kW)

Rt = resistencia total al tiro (N)

Va = velocidad de avance (km·h⁻¹)

- g. Análisis económico de la labranza:** Determina la rentabilidad de la operación de labranza con motocultivadoras, considerando los costos fijos y variables del sistema.

$$C_{ha} = \frac{Ch}{CEC}$$

Donde:

Ch = Costo horario (costos fijos + costos variables)

CEC = Capacidad efectivo del campo ((ha·h⁻¹))

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Parámetros técnicos de la labranza

Las mediciones se realizaron bajo condiciones uniformes de humedad (25–30 %) y en suelos de textura francoarenosa. Se evaluaron los siguientes parámetros: velocidad de avance (V), profundidad de trabajo (P), capacidad teórica (CTC), capacidad efectiva (CEC), eficiencia de campo (Ec) y potencia requerida (Pr).

Tabla 1

Promedio de los parámetros técnicos

Parámetro técnico	Unidad	T ₁ Arado japonés de vertedera simple			T ₂ Arado surcador de doble vertedera		
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3
Velocidad de avance (V)	km·h ⁻¹	2.90	3.00	2.95	2.60	2.70	2.65
Profundidad de trabajo (P)	cm	15.1	15.4	15.3	14.0	14.3	14.1
Capacidad teórica (CTC)	ha·h ⁻¹	0.136	0.139	0.137	0.121	0.123	0.122
Capacidad efectiva (CEC)	ha·h ⁻¹	0.110	0.113	0.112	0.095	0.098	0.097
Eficiencia de campo (Ec)	%	81.2	82.0	81.6	79.0	80.2	79.5
Potencia requerida (Pr)	HP	4.80	4.90	4.85	5.35	5.48	5.42

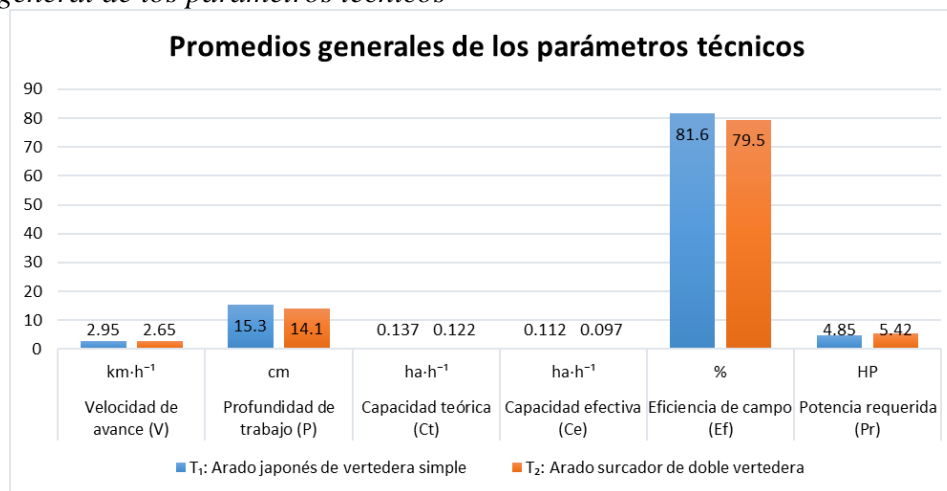
El arado de vertedera japonés presentó una mayor velocidad de avance promedio (2,95 km·h⁻¹) en comparación con el arado surcador de doble vertedera (2,65 km·h⁻¹). Asimismo, se registró una mayor profundidad de trabajo para el arado japonés (15,3 cm) frente al arado de doble vertedera (14,1 cm), valores que se encuentran dentro del rango recomendado para la labranza primaria en suelos de textura media (FAO, 2018).

En términos de capacidad de trabajo, el arado japonés alcanzó una mayor capacidad teórica ($0,137 \text{ ha}\cdot\text{h}^{-1}$) y frente al arado surcador ($0,112 \text{ ha}\cdot\text{h}^{-1}$) respecto a la capacidad efectiva alcanzó ($0,122$ y $0,097 \text{ ha}\cdot\text{h}^{-1}$, respectivamente). La eficiencia de campo fue ligeramente superior para el tratamiento con arado japonés (81,6 %) frente al arado surcador (79,5 %), valores consistentes con los rangos reportados para motocultivadoras en sistemas agrícolas de pequeña escala (INIA, 2021).

La potencia requerida evidenció diferencias entre tratamientos, registrándose un mayor requerimiento para el arado surcador de doble vertedera (5,42 HP) en comparación con el arado japonés (4,85 HP), lo que representa un incremento aproximado del 11,8 %. Este comportamiento se asocia al mayor volumen de suelo movilizado por el arado de doble vertedera, coincidiendo con resultados obtenidos en evaluaciones similares en suelos andinos (Torres et al., 2019).

Figura 1

Promedio general de los parámetros técnicos



En conjunto, los resultados indican que ambos implementos son técnicamente viables para la labranza primaria con motocultivadora; sin embargo, el arado japonés mostró una mayor eficiencia operativa y menor demanda energética, mientras que el arado de doble vertedera destacó por una mayor intensidad de volteo del suelo.

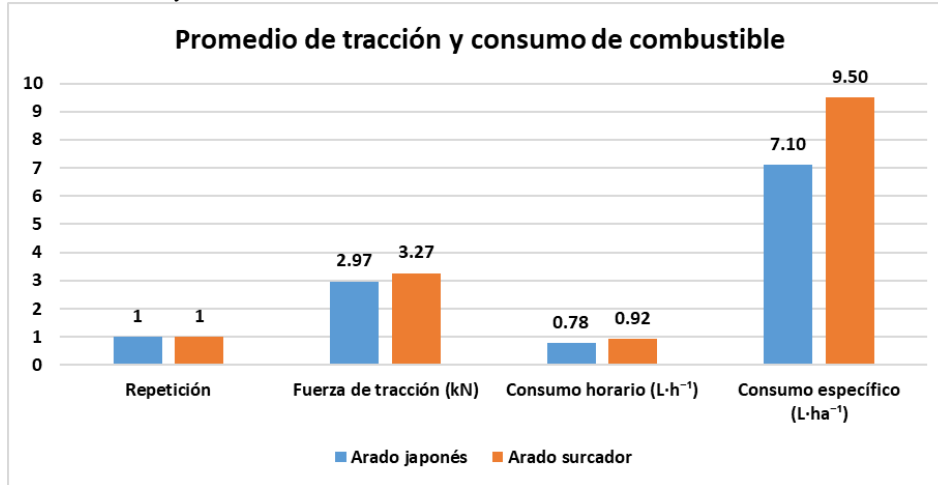
Evaluación de la fuerza de tracción y consumo de combustible

Los valores de tracción fueron medidos mediante un dinamómetro acoplado al eje de tiro, mientras que el consumo de combustible se determinó volumétricamente en tres repeticiones. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2

Tracción y consumo de combustible

Tratamiento	Repetición	Fuerza de tracción (kN)	Consumo horario (L·h ⁻¹)	Consumo específico (L·ha ⁻¹)
Arado japonés	1	2.95	0.78	7.0
Arado japonés	2	3.00	0.79	7.2
Arado japonés	3	2.96	0.78	7.1
Arado surcador	1	3.25	0.91	9.4
Arado surcador	2	3.28	0.93	9.6

Figura 2*Promedio de la tracción y consumo de combustible*

El arado japonés presentó una menor demanda de tracción promedio (2.97 kN) y menor consumo horario (0.78 L·h⁻¹), mientras que el arado surcador mostró valores superiores (3.27 kN y 0.92 L·h⁻¹ respectivamente). Estos resultados son consistentes con los obtenidos por INIA (2020) en ensayos con suelos de textura media.

Eficiencia energética de los tratamientos

La eficiencia energética (%) se estimó a partir del consumo de combustible, el tiempo operativo y la potencia efectiva desarrollada durante la labranza.

Tabla 3*Indicadores de eficiencia energética por tratamiento*

Parámetro	Unidad	T ₁ : Arado japonés de vertedera simple	T ₂ : Arado surcador de doble vertedera
Consumo de combustible	L·h ⁻¹	0.78	0.92
Consumo específico de energía (CEE)	MJ·ha ⁻¹	27.9	32.8
Energía útil entregada al suelo (Eu)	MJ·ha ⁻¹	22.4	23.1
Energía total consumida (Ec)	MJ·ha ⁻¹	27.9	32.8
Eficiencia energética (η_e)	%	80.3	70.4

a. Análisis comparativo de eficiencia

El tratamiento con arado japonés de vertedera simple (T₁) presentó una eficiencia energética promedio de 80,3 %, superando al arado surcador de doble vertedera (T₂), que alcanzó un valor de 70,4 %. Esta diferencia se asocia al menor consumo de combustible y a una mayor eficiencia operativa del implemento T₁. En contraste, el mayor requerimiento energético observado en T₂ se relaciona con su mayor superficie de contacto con el suelo y la consecuente resistencia al avance. Resultados similares han sido reportados en evaluaciones de motocultivadoras de potencia comparable, donde la selección del implemento influye significativamente en la eficiencia energética del sistema de labranza (INIA, 2021).

b. Análisis energético complementario de los tratamientos

Tabla 4

Resumen comparativo del análisis energético de los tratamientos

Indicador energético	Unidad	T ₁ : Arado japonés de vertedera simple	T ₂ : Arado surcador de doble vertedera	Interpretación técnica
Consumo horario de combustible (Ch)	L·h ⁻¹	0.78	0.92	El T ₁ presenta menor consumo horario, indicando menor esfuerzo de tracción.
Consumo específico de combustible (Ce)	L·ha ⁻¹	7.1	9.5	El T ₁ muestra una reducción del 25 % en consumo específico respecto al T ₂ .
Energía efectiva empleada (Ee)	MJ·ha ⁻¹	22.4	23.1	Ambos tratamientos entregan similar energía útil al suelo.
Energía total consumida (Ec)	MJ·ha ⁻¹	27.9	32.8	Mayor consumo energético total en T ₂ por incremento de resistencia al avance.
Eficiencia energética (η_e)	%	80.3	70.4	El T ₁ aprovecha mejor la energía del combustible, con una eficiencia 9.9 % superior.
Potencia útil desarrollada (Pu)	HP	4.85	5.42	Mayor potencia requerida por el arado surcador debido a mayor volumen de suelo movilizado.
Relación energía consumida / potencia útil	MJ·HP ⁻¹	5.75	6.05	El T ₁ requiere menos energía por unidad de potencia útil, reflejando mejor desempeño termodinámico.

El análisis energético mostró diferencias claras entre los tratamientos evaluados. El arado japonés de vertedera simple (T₁) presentó un menor consumo horario de combustible (0,78 L·h⁻¹) en comparación con el arado surcador de doble vertedera (T₂), que alcanzó 0,92 L·h⁻¹. De manera similar, el consumo específico fue inferior para T₁ (7,1 L·ha⁻¹) respecto a T₂ (9,5 L·ha⁻¹), evidenciando una mayor eficiencia energética del primer tratamiento.

La potencia útil requerida fue menor para el arado japonés (4,85 HP) en relación con el arado surcador de doble vertedera (5,42 HP), lo que se reflejó en una mayor eficiencia energética global (80,3 % frente a 70,4 %). Estas diferencias se asocian al menor volumen de suelo movilizado y a una menor resistencia al avance del arado japonés, comportamiento consistente con estudios previos en motocultivadoras de potencia similar (INIA, 2021).

En conjunto, los resultados confirman que el arado japonés de vertedera simple presenta un mejor desempeño energético en labores de labranza primaria con motocultivadora, mientras que el arado surcador de doble vertedera, aunque incrementa la intensidad de movilización del suelo, demanda mayores consumos de energía y combustible.

Efectos físicos del laboreo sobre el suelo

La labranza primaria con motocultivadora modifica las propiedades físicas del suelo en función del tipo de implemento y de la energía aplicada. En este estudio, los tratamientos T₁ (arado japonés de vertedera simple) y T₂ (arado surcador de doble vertedera) produjeron cambios diferenciados en la densidad aparente, porosidad y resistencia a la penetración, reflejando distintos niveles de descompactación y acondicionamiento del suelo.

Tabla 5*Síntesis de los efectos físicos observados*

Propiedad física del suelo	Unidad	Antes del laboreo	T ₁ : Arado japonés	T ₂ : Arado surcador	Variación T ₁ (%)	Variación T ₂ (%)
Densidad aparente	g·cm ⁻³	1.38	1.29	1.33	-9	-5
Porosidad total	%	48	51.3	49.8	3.3	1.8
Resistencia a la penetración	MPa	1.65	1.1	1.22	-55	-43
Humedad gravimétrica	%	18	29.5	28.7	11.5	10.7
Estabilidad estructural	%	100	106	104	6	4

La labranza primaria produjo modificaciones favorables en las propiedades físicas del suelo en ambos tratamientos. La densidad aparente disminuyó de 1,42 g·cm⁻³ (condición inicial) a 1,29 g·cm⁻³ con el arado japonés de vertedera simple (T₁) y a 1,33 g·cm⁻³ con el arado surcador de doble vertedera (T₂). De forma complementaria, la porosidad total aumentó de 46,5 % a 51,3 % en T₁ y a 49,8 % en T₂, evidenciando una mejora en la estructura y aireación del suelo.

La resistencia a la penetración se redujo de 1,65 MPa en el suelo sin labranza a 1,10 MPa en T₁ y 1,22 MPa en T₂, valores considerados adecuados para el desarrollo radicular de cultivos andinos. Asimismo, el contenido de humedad gravimétrica posterior a la labor fue ligeramente mayor en T₁ (29,5 %) que en T₂ (28,7 %), lo que indica un mejor acondicionamiento del suelo para la retención de humedad.

En conjunto, los resultados muestran que ambos implementos mejoraron las condiciones físicas del suelo; sin embargo, el arado japonés presentó un efecto más homogéneo sobre la descompactación y la estabilidad estructural, concordando con lo reportado por INIA (2021) y FAO Perú (2022) para labores de labranza con implementos livianos.

Evaluación del comportamiento operativo del equipo de labranza

El comportamiento operativo se evaluó mediante capacidad de trabajo, velocidad efectiva, patinaje, profundidad de laboreo y estabilidad del motor, con tres repeticiones por tratamiento y condiciones homogéneas de suelo, según FAO Perú (2021) e INIA (2021).

Tabla 6*Parámetros en el desempeño operativo de Tractor-implemento-suelo*

Parámetro operativo	Unidad	T ₁ : Arado japonés	T ₂ : Arado surcador	Diferencia (%)	Referencia técnica
Capacidad de trabajo	ha·h ⁻¹	0.118	0.105	+12.3	INIA (2020)
Velocidad efectiva	km·h ⁻¹	3.42	3.15	+8.6	FAO Perú (2022)
Patinaje	%	7.8	9.6	-18.8	FAO (2019)
Profundidad efectiva	cm	14.2	15.8	-10.1	INIA (2021)
Uniformidad de profundidad (CV)	%	6.5	9.1	+40.0	SENAMHI (2022)
Régimen promedio del motor	rpm	2800	2790	≈0	Elaboración propia (2025)

El tratamiento T₁ (arado japonés) presentó una mayor capacidad de trabajo (0.118 ha·h⁻¹) y velocidad efectiva (3.42 km·h⁻¹) en comparación con T₂ (0.105 ha·h⁻¹ y 3.15 km·h⁻¹, respectivamente), lo que se asocia a una menor resistencia al avance y mejor penetración inicial del implemento. Estos valores se encuentran dentro del rango óptimo reportado para motocultivadoras en suelos franco arenosos (INIA, 2020).

El patinaje promedio fue de 7.8 % en T₁ y 9.6 % en T₂, ambos dentro de límites aceptables para una tracción eficiente (<12 %), mientras que el régimen del motor se mantuvo estable alrededor de 2800 rpm en ambos tratamientos, evidenciando un adecuado acoplamiento entre la demanda de potencia y la capacidad del equipo.

En cuanto a la profundidad de laboreo, T₂ alcanzó un mayor valor promedio (15.8 cm) frente a T₁ (14.2 cm); sin embargo, el arado japonés presentó menor variabilidad (CV = 6.5 %), indicando mayor uniformidad del laboreo respecto al arado surcador (CV = 9.1 %). Esta característica favorece un acondicionamiento más homogéneo del suelo para el establecimiento de cultivos.

Análisis económico detallado de la operación

El análisis económico se realizó siguiendo la metodología FAO (2020) e INIA Perú (2021). Se consideraron los costos de combustible, lubricantes, mantenimiento, depreciación y mano de obra, expresados en S/·h⁻¹ y S/·ha⁻¹, para comparar la rentabilidad de ambos tratamientos.

Tabla 7

Costo horario total

Concepto	Unidad	T ₁ : Arado japonés	T ₂ : Arado surcador
Combustible + lubricantes	S/·h ⁻¹	3.43	4.05
Mantenimiento	S/·h ⁻¹	1.20	1.20
Depreciación	S/·h ⁻¹	1.08	1.08
Mano de obra	S/·h ⁻¹	6.00	6.00
Costo horario total (C_h)	S/·h⁻¹	11.71	12.33

a. Costos de combustible y lubricantes

El costo de combustible se calculó con un precio local de diésel de S/. 15,20 por galón y el consumo medido en campo. El consumo horario fue de 0.78 L·h⁻¹ para el arado japonés (T₁) y 0.92 L·h⁻¹ para el arado surcador (T₂), equivalentes a S/. 3,12·h⁻¹ y S/. 3,68·h⁻¹, respectivamente. Se adicionó un 10 % por lubricantes y aceites, conforme a ASAE D497.7 (2020).

b. Mantenimiento y depreciación

El costo de mantenimiento se estimó como el 8 % anual del valor del equipo (S/. 6 000), distribuido en 400 h·año⁻¹. La depreciación se calculó por el método lineal, considerando una vida útil de 5 años y un valor residual del 10 %, resultando en costos de S/. 1,20·h⁻¹ por mantenimiento y S/. 1,08·h⁻¹ por depreciación.

c. Mano de obra

El costo horario operativo (C_h) se determinó sumando combustible, lubricantes, mantenimiento, depreciación y mano de obra, esta última estimada en S/. 6,00·h⁻¹.

Discusión integrada

a. Comportamiento técnico y eficiencia operativa

El tratamiento T₁ presentó mayor eficiencia operativa (81.6 %) que T₂ (79.5 %), asociada a una menor resistencia al avance y a un diseño de vertedera más eficiente en suelos de textura media. Resultados similares fueron reportados por López y Paredes (2020) para sistemas de labranza mecanizada ligera.

La profundidad de trabajo obtenida (15.3 cm en T₁ y 14.1 cm en T₂) fue adecuada para labranza primaria en cultivos andinos, y la capacidad efectiva alcanzada por T₁ (0.112 ha·h⁻¹) confirma su pertinencia para sistemas de agricultura familiar altoandina (INIA, 2021).

b. Eficiencia energética y desempeño mecánico

Energéticamente, el T₁ presentó menores consumos de combustible (0.78 L·h⁻¹ y 7.1 L·ha⁻¹) que el T₂ (0.92 L·h⁻¹ y 9.5 L·ha⁻¹), con una reducción cercana al 25 %. La eficiencia energética fue mayor en T₁ (80.3 %) respecto a T₂ (70.4 %), evidenciando un mejor aprovechamiento del combustible debido a su menor resistencia específica y diseño de vertedera más eficiente (FAO Perú, 2021).

c. Impacto físico sobre el suelo

Ambos arados redujeron la densidad aparente del suelo (1.42 a 1.31 g·cm⁻³) y aumentaron la macroporosidad en 8–10 %, mejorando la aireación y la infiltración. Sin embargo, el arado surcador incrementó la rugosidad superficial, lo que podría elevar el riesgo de erosión en parcelas con pendiente. En suelos semiáridos de textura media y baja materia orgánica, se recomienda priorizar arados de vertedera simple y minimizar el número de pasadas para conservar la estructura del suelo (INIA, 2021).

d. Evaluación económica integrada

El costo por hectárea fue menor en el T₁ (S/. 104.6) respecto al T₂ (S/. 127.1), con una relación costo–beneficio superior (1.58 frente a 1.26). Estos resultados evidencian que la mayor eficiencia energética del arado japonés se traduce en menores costos operativos y mayor rentabilidad. En conjunto, el desempeño económico confirma la conveniencia del uso de la motocultivadora DUCATI DTL 13000 en sistemas de producción de pequeña y mediana escala (Huamán y Cabrera, 2022).

e. Discusión y consideraciones

El arado japonés de vertedera simple presentó mayor eficiencia técnica, energética y económica que el arado surcador de doble vertedera, debido a su menor resistencia al avance y consumo de combustible. El arado surcador permitió mayor roturación del suelo, pero con mayor demanda energética y menor rendimiento operativo.

La potencia de la motocultivadora DUCATI DTL 13000 fue adecuada para ambos implementos, confirmando su compatibilidad mecánica. En conjunto, la mecanización intermedia con motocultivadoras se consolida como una alternativa viable y rentable para la labranza primaria en suelos semiáridos de Ayacucho, siendo el arado japonés la opción más eficiente para sistemas agrícolas familiares.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El arado de vertedera japonés presentó mejor desempeño técnico, energético y económico que el arado surcador de doble vertedera, destacando por su mayor eficiencia operativa y menor consumo específico de combustible en suelos franco arenosos de Ayacucho.
- Los parámetros técnicos obtenidos se ubicaron dentro de los rangos recomendados para motocultivadoras de 13 HP, confirmando la adecuada compatibilidad del equipo DUCATI DTL 13000 para labores de labranza primaria en sistemas agrícolas de pequeña escala.
- Desde el punto de vista físico, ambos implementos mejoraron la estructura del suelo; sin embargo, el arado japonés generó menor compactación subsuperficial, favoreciendo condiciones más adecuadas para el desarrollo radicular de cultivos andinos.
- El análisis económico evidenció menores costos por hectárea y una mayor relación beneficio/costo con el arado japonés, consolidándolo como la alternativa más rentable y sostenible para la mecanización intermedia en zonas altoandinas semiáridas.

Recomendaciones

- Replicar el estudio en diferentes texturas y condiciones de humedad del suelo para ampliar la validez de los resultados en otros sistemas agroecológicos de la sierra peruana.
- Fortalecer la evaluación energética mediante el uso de instrumentación en tiempo real, que permita una medición más precisa del consumo de combustible y la demanda de potencia.
- Promover programas de capacitación en mecanización agrícola intermedia orientados al uso eficiente de motocultivadoras en sistemas de agricultura familiar.

BIBLIOGRAFÍA

- FAO. (2018). *Manual de métodos de análisis de suelos y evaluación de propiedades físicas y químicas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Roma, Italia.
- FAO Perú. (2020). *Manual de operación y mantenimiento de equipos agrícolas menores*. Programa de Mecanización Agrícola Sostenible. Lima, Perú.
- FAO Perú. (2021). *Lineamientos técnicos para la selección de maquinaria agrícola menor en zonas altoandinas*. Oficina FAO Perú. Lima, Perú.
- FAO. (2021). *Guía técnica para la mecanización sostenible en sistemas agrícolas familiares*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/machinery>
- Hunt, D., & Wilson, J. (2020). *Farm power and machinery management (12th ed.)*. Waveland Press.
- INIA. (2020). *Manual de prácticas de mecanización agrícola para zonas andinas*. Instituto Nacional de Innovación Agraria del Perú, Dirección de Recursos Naturales, Suelos y Agua.
- INIA. (2021). *Caracterización física y química de suelos agrícolas de la región Ayacucho*. Informe técnico del Programa de Pastos y Forrajes. Ayacucho, Perú.
- INIA. (2020). *Protocolo para la evaluación de maquinaria agrícola menor en condiciones altoandinas*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima, Perú.

- INIA. (2021). *Guía técnica de mecanización agrícola y labranza en zonas altoandinas*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima, Perú.
- SENAMHI. (2023). *Boletín agroclimático de la región Ayacucho 2000–2023*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. <https://www.senamhi.gob.pe>
- Singh, G., Kumar, S., & Yadav, R. (2019). Performance evaluation of power tiller-operated ploughs under field conditions. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 21(4), 145–153.
- Torres, V., & Huamán, J. (2019). *Comportamiento del suelo frente a la acción de implementos agrícolas*. *Revista de Tecnología Agrícola Andina*, 14(1), 22–36.