

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



TESIS:

**Evaluación de parámetros técnicos y agrotécnicos de una
desmalezadora a ruedas BONELLY BNTT52, Ayacucho - 2024**

Para optar el título profesional de:
INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTADO POR:
Bach. Alexander Juniors ESPINOZA HUAMAN

ASESOR:
Ing. Msc. FEDERICO QUICAÑO SUÁREZ

AYACUCHO - PERÚ

2026

DEDICATORIA

A Dios, por darme la fortaleza y sabiduría para superar cada obstáculo, y por darme el maravilloso regalo que es mi familia y por derramar en ella amor y la unión.

Con profunda gratitud, amor y respeto a mi madre, Gladys Marisol Huaman Arones, por su apoyo incondicional y por todos los sacrificios que realizó a lo largo de mi vida. Por cada esfuerzo silencioso, por las veces en que dejó de lado sus propias necesidades para brindarme lo mejor.

Con mucha admiración, respeto, y ejemplo de vida a mi padre, Lucio Espinoza Aquino, por haber alcanzado el sueño de convertirse en el primer profesional de su familia a base de sacrificio y esfuerzo, dejándome como legado el valor de la perseverancia y el deseo de siempre superarme.

A mis hermanos menores, Greyshel Lourdes Espinoza Huaman y Josue Patrick Espinoza Huaman, por su confianza, comprensión, apoyo incondicional. Ustedes son motivación de seguir esforzándome y ser un ejemplo para su futuro.

A Luz Evarista Arones Carbajal, por su cariño incondicional, apoyo en todo momento y sus palabras de aliento que fortalece mi corazón.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por su apoyo y confianza; gracias a su esfuerzo y motivación constante, reflejo en esta tesis mi gratitud hacia ustedes.

AGRADECIMIENTO.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por brindarme la oportunidad de formar parte de esta noble institución, por acogerme en sus aulas, por generar en mí la capacidad y, además, los valores, tan necesarios, para corresponder de vocación los requerimientos que la sociedad demanda.

A la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por ofrecerme las condiciones que me permitieron mi formación profesional, tanto en infraestructura, recursos académicos y herramientas que contribuyeron al desarrollo de mis conocimientos. Al mismo tiempo, quiero manifestar mi agradecimiento a todos los docentes e ingenieros que, con sus experiencias y conocimientos, pasaron a formar parte de mi formación académica y profesional, y que gracias a ellos pude llevar a cabo la presente tesis.

Al M.Sc. Federico Quicaño Suárez, asesor de la presente tesis, por su orientación, apoyo, confianza y valiosa colaboración durante el desarrollo de la investigación, los cuales fueron fundamentales para la realización y culminación satisfactoria de este trabajo.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar los parámetros técnicos y agrotécnicos de una desmalezadora motorizada a ruedas BONELLY BNTT52, durante labores de control mecánico de malezas en cultivos representativos de la Región Ayacucho durante el año 2025. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada y nivel descriptivo, mediante evaluaciones de campo realizadas utilizando diferentes accesorios de trabajo, entre ellos la fresa de escardado (estrella), cabezal de cuchilla de dos puntas, rotocultor, cabezal de hilo de nylon y disco de sierra circular.

Los parámetros técnicos evaluados fueron el consumo de combustible, la fuerza de trabajo, la velocidad de avance, la potencia útil y la capacidad efectiva de trabajo. Asimismo, se evaluó la eficiencia de control mecánico de malezas en cultivos de frejol, maíz, alfalfa y así como el control del kikuyo. Los datos fueron obtenidos mediante mediciones directas en campo utilizando cronómetro digital, dinamómetro, probeta graduada, wincha, balanza portátil y fichas de registro, permitiendo determinar el desempeño técnico y agrotécnico del equipo bajo condiciones reales de operación.

Los resultados mostraron que el consumo de combustible osciló entre 0,54 y 0,72 L·h⁻¹, mientras que la fuerza de trabajo osciló entre 742 y 1290 N. La velocidad de operación se situó entre 1,7 y 3,0 km·h⁻¹, la potencia útil entre 0.82 y 0.86 HP y la capacidad efectiva de trabajo, se alcanzaron valores entre 0,038 y 0,096 ha·h⁻¹. Respecto a los parámetros agrotécnicos, la eficiencia de control mecánico de malezas alcanzó valores entre 75% y 83%, destacando el cabezal de cuchilla de dos puntas en alfalfa y la fresa de escardado en cultivos sembrados en hileras.

Se concluye que la desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52 constituye una alternativa viable para la mecanización agrícola ligera, debido a su versatilidad, bajo consumo de combustible, adecuada capacidad de trabajo y eficiencia en las labores de control mecánico de malezas en sistemas de agricultura familiar de la región Ayacucho.

Palabras clave: mecanización agrícola, control mecánico de malezas, desmalezadora de ruedas, parámetros técnicos, parámetros agrotécnicos.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the technical and agrotechnical parameters of a BONELLY BNTT52 motorized wheeled weed cutter during mechanical weed control operations in crops representative of the Ayacucho Region in 2025. The study employed a quantitative, applied, and descriptive approach, involving field evaluations using various attachments, including a weeding rotor (star type), a two-point blade head, a rotary tiller, a nylon line head, and a circular saw disc.

The technical parameters evaluated included fuel consumption, operating force, forward speed, useful power, and effective work capacity. Additionally, the efficiency of mechanical weed control was assessed in bean, maize, alfalfa, and kikuyu grass crops. Data were obtained through direct field measurements using a digital stopwatch, dynamometer, graduated probe, tape measure, portable scale, and data recording sheets, enabling the determination of the equipment's technical and agrotechnical performance under real operating conditions.

The results showed that fuel consumption ranged from 0.54 to 0.72 L·h⁻¹, while operating force ranged from 742 to 1290 N. Operating speed ranged from 1.7 to 3.0 km·h⁻¹, useful power from 0.82 to 0.89 HP, and effective work capacity values ranged from 0.038 to 0.096 ha·h⁻¹. Regarding agrotechnical parameters, mechanical weed control efficiency ranged from 75% to 83%, with the two-point blade head performing notably well in alfalfa and the weeding rotor in row-planted crops. It is concluded that the BONELLY BNTT52 wheeled brush cutter represents a viable alternative for light agricultural mechanization, owing to its versatility, low fuel consumption, adequate work capacity, and efficiency in mechanical weed control tasks within family farming systems in the Ayacucho region.

Keywords: agricultural mechanization, mechanical weed control, wheeled weeder, technical parameters, agrotechnical parameters.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTO.....	2
RESUMEN	3
ÍNDICE.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE ANEXOS	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO I	14
1. Marco teórico	14
1.1 Antecedentes de la investigación.....	14
1.1.1 Antecedentes a nivel internacional	14
1.1.2 Antecedentes a nivel nacional	15
1.1.3 Antecedentes a nivel local	15
1.2 Bases teóricas	17
1.2.1 Mecanización agrícola.....	17
1.2.2 Tecnologías en la mecanización agrícola.....	18
1.2.3 Mecanización agrícola ligera	19
1.2.4 Control mecánico de malezas	19
1.2.5 Desmalezadora agrícola.....	20
1.2.6 Clasificación de desmalezadoras manuales y de tracción asistida	21
1.2.7 Componentes y accesorios de la desmalezadora BONELLY BNTT52	23
1.2.8 Parámetros técnicos de evaluación	26
1.2.9 Parámetros agrotécnicos.....	28
1.2.10 Agricultura familiar y mecanización apropiada.....	30
1.3 Definición de términos básicos	31
CAPITULO II	34
2. MATERIALES Y MÉTODOS	34

2.1 Ubicación y características del experimento	34
2.1.1 Ubicación geográfica	34
2.1.2 Ubicación política	34
2.1.3 Características climáticas	36
2.1.3 Características agroecológicas del área de estudio	38
2.3 Importancia del lugar del experimento para la investigación	38
2.2 Materiales, herramientas, instrumentos y equipos	39
2.2.1 Materiales utilizados	39
2.2.2 Herramientas utilizadas	39
2.2.3 Instrumentos de medición	39
2.2.4 Equipo evaluado	40
2.2.5 Accesorios evaluados	40
2.3 Tipo, nivel y diseño de investigación	40
2.3.1 Tipo de investigación	40
2.3.2 Nivel de investigación	40
2.3.3 Diseño de investigación	41
2.4 Evaluaciones realizadas	41
2.4.1 Tratamientos evaluados	41
2.4.2 Repeticiones de la evaluación	41
2.4.3 Número de unidades evaluadas	41
2.4.4 Unidad de estudio	41
2.4.5 Unidad experimental	42
2.5 Variables evaluadas	42
2.5.1 Variables técnicas	42
2.5.2 Variable agrotécnica	43
2.6 Procedimiento experimental	43
2.6.1 Preparación de las parcelas experimentales	43

2.6.2 Delimitación de las unidades experimentales	43
2.6.3 Instalación de los accesorios	43
2.6.4 Determinación del consumo de combustible	43
2.6.5 Determinación de la fuerza de trabajo	44
2.6.6 Determinación de la velocidad de avance	44
2.6.7 Determinación de la potencia útil.....	44
2.6.8 Determinación de la capacidad efectiva de trabajo.....	45
2.6.9 Determinación de la eficiencia de control mecánico de malezas	45
2.7 Análisis de datos.....	45
CAPÍTULO III	47
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	47
3.1 Descripción técnica de la desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52.....	47
3.1.1 Características generales	47
3.1.2 Componentes principales	48
3.1.3 Accesorios evaluados.....	49
3.1.4 Funcionamiento y operación.....	50
3.1.5 Discusión técnica	51
3.2 Evaluación de los parámetros técnicos	52
3.2.1 Consumo de combustible	52
3.2.2 Fuerza de trabajo	53
3.2.3 Velocidad de avance	54
3.2.4 Potencia útil.....	55
3.2.5 Capacidad efectiva de trabajo	57
3.2.6 Discusión de los resultados experimentales	58
3.3 Evaluación de los parámetros agrotécnicos.....	60
3.3.1 Eficiencia de control de malezas en cultivo de frejol.....	60
3.3.2 Eficiencia de corte de alfalfa.....	61

3.3.3 Eficiencia de control de kikuyo	62
CAPITULO IV	65
4. CONCLUSIONES	65
CAPÍTULO V	67
5. RECOMENDACIONES	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....	68
ANEXO A: Especificaciones de la desmalezadora BONELLY BNTT52.....	72
ANEXO B: Ficha técnica de la desmalezadora BONELLY BNTT52	77
ANEXO C: Resumen de la descripción de los accesorios de trabajo de la desmalezadora BONELLY BNTT52	78
ANEXO D: Procedimiento para determinación del consumo de combustible	80

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 <i>Síntesis de los antecedentes de investigación relacionados con el control mecánico de malezas y la mecanización agrícola.</i>	16
Tabla 2 <i>Comparación de tecnologías de mecanización agrícola.</i>	19
Tabla 3 <i>Tipos de desmalezadoras manuales y de tracción asistida</i>	23
Tabla 4 <i>Accesorios principales de la desmalezadora BONELLY BNTT52</i>	25
Tabla 5 <i>Tratamientos evaluados en la desmalezadora a ruedas BONELLY BNTT52</i>	41
Tabla 6 <i>Especificaciones técnicas de la desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52</i>	47
Tabla 7 <i>Consumo de combustible de la desmalezadora BONELLY BNTT52 según tipo de accesorio (Unidad: $L \cdot h^{-1}$).</i>	52
Tabla 8 <i>Fuerza de trabajo requerida por la desmalezadora BONELLY BNTT52 según accesorio (Unidad: Newton - N).</i>	53
Tabla 9 <i>Velocidad de avance de la desmalezadora BONELLY BNTT52 según accesorio (Unidad: $km \cdot h^{-1}$).</i>	54
Tabla 10 <i>Potencia al motor del equipo BONELLY BNTT52 según tipo de accesorio</i> .	55
Tabla 11 <i>Capacidad de trabajo efectiva de la desmalezadora BONELLY BNTT52</i>	57
Tabla 12 <i>Eficiencia de control de malezas blandas en cultivo de frejol utilizando fresa de escardado (estrella).</i>	61
Tabla 13. <i>Eficiencia de corte de alfalfa utilizando cabezal de cuchilla de dos puntas.</i>	61
Tabla 14 <i>Eficiencia de corte de kikuyo utilizando cabezal de hilo de nylon</i>	62
Tabla 15 <i>Eficiencia de corte de maíz en hileras utilizando disco de sierra circular (estrella)</i>	62
Tabla 16 <i>Eficiencia de corte de maíz en hileras utilizando fresa de escardado (estrella)</i>	63
Tabla 17 <i>Especificaciones generales de la desmalezadora BONELLY BNTT52</i>	73
Tabla 18 <i>Especificaciones generales de la desmalezadora a ruedas BONELLY BNTT52</i>	74
Tabla 19 <i>Especificaciones técnicas de los accesorios de trabajo.</i>	75
Tabla 20 <i>Observaciones técnicas para la evaluación experimental</i>	76

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 <i>Imagen satelital de la ubicación del campo experimental de Pampa del Arco.</i>	34
Figura 2 Mapa departamental y su ubicación en el país.	35
Figura 3 <i>Ubicación del distrito de Ayacucho en la provincia de Huamanga.</i>	36
Figura 4 Ombrotermograma de Ayacucho (Huamanga, 2750 m.s.n.m. – Periodo 1981-2010 (SENAMHI)	37
Tabla 5 <i>Tratamientos evaluados en la desmalezadora a ruedas BONELLY BNTT52</i>	41
Figura 5 <i>Desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52 utilizada durante la investigación.</i>	48
Figura 6 Accesorios de la desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52	50
Figura 7 <i>Mezcla de combustible y aceite para la desmalezadora con ruedas BONELLY BNTT52.</i>	84
Figura 8 <i>Cambio de accesorio para trabajos y mediciones de la desmalezadora</i>	84
Figura 9 <i>Desmalezadora BONELLY BNTT52 empleada en la investigación.</i>	85
Figura 10	86
Trabajo parcelario con la desmalezadora BONELLY BNTT2	86
Figura 12 Trabajo manual para el deshierbo	86
Figura 13 Ancho de trabajo para los trabajos del desmalezado con la BONELLY BNTT 52	87
Figura 14 Calculo de la fuerza de trabajo con el uso del dinamómetro	87

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A: Especificaciones de la desmalezadora BONELLY BNTT52.....	72
ANEXO B: Ficha técnica de la desmalezadora BONELLY BNTT52	77
ANEXO C: Resumen de la descripción de los accesorios de trabajo de la desmalezadora BONELLY BNTT52.....	78
ANEXO D: Procedimiento para determinación del consumo de combustible....	80

INTRODUCCIÓN

La agricultura constituye una de las actividades económicas más importantes para la seguridad alimentaria y el desarrollo rural, especialmente en regiones donde predominan sistemas productivos de pequeña escala. En este contexto, la mecanización agrícola desempeña un papel fundamental al contribuir a mejorar la eficiencia de las labores agrícolas, reducir la demanda de mano de obra y optimizar el uso de los recursos disponibles. Sin embargo, en muchas zonas rurales del Perú, particularmente en la región Ayacucho, el acceso a tecnologías de mecanización continúa siendo limitado debido a factores económicos, geográficos y tecnológicos (FAO, 2021; FAO, 2022).

Uno de los principales problemas que enfrentan los agricultores es el control de malezas. Estas especies compiten con los cultivos por agua, nutrientes, luz y espacio, generando disminuciones significativas en el rendimiento y la calidad de la producción agrícola. Tradicionalmente, el control de malezas en sistemas de agricultura familiar se realiza mediante labores manuales de deshierbo, las cuales requieren una considerable inversión de tiempo, esfuerzo físico y costos de mano de obra (García & Fernández-Quintanilla, 1991; Young & Pierce, 2014).

Frente a esta situación, el control mecánico de malezas se presenta como una alternativa tecnológica que permite incrementar la eficiencia de las labores agrícolas y reducir la dependencia de métodos manuales. El empleo de equipos de mecanización ligera, como las desmalezadoras a rueda, ofrece ventajas relacionadas con la versatilidad de operación, facilidad de transporte, bajo consumo de combustible y adaptación a diferentes condiciones de trabajo agrícola (Hunt & Wilson, 2016; Bashir et al., 2023).

En la región Ayacucho, caracterizada por una agricultura predominantemente familiar, la incorporación de tecnologías de mecanización ligera puede contribuir significativamente a mejorar la productividad de los sistemas agrícolas. No obstante, la adopción de este tipo de equipos requiere previamente la generación de información técnica que permita conocer su desempeño operativo bajo condiciones reales de campo.

Diversos estudios han demostrado la importancia de evaluar el comportamiento técnico y operativo de equipos destinados al manejo de malezas y labores de mantenimiento agrícola. Aguilar (2021) evaluó el desempeño de una motocultivadora en labores de labranza de suelos en Ayacucho, evidenciando la necesidad de adaptar la mecanización a las condiciones locales. De igual manera, Rivera (2021) analizó una cultivadora multiuso de tracción mecánica en cultivos alimenticios, destacando el

potencial de la mecanización intermedia para mejorar la eficiencia de las labores agrícolas. Asimismo, investigaciones desarrolladas por Morales (2020), Otañez y Granja (2021) y Segovia (2021) reportan resultados favorables en la utilización de equipos mecánicos para labores de control de vegetación y manejo de cultivos.

En este contexto, la presente investigación se desarrolló con el propósito de evaluar los parámetros técnicos y agrotécnicos de una desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52 durante labores de control mecánico de malezas en cultivos representativos de la región Ayacucho. Para ello se analizaron variables técnicas como consumo de combustible, fuerza de trabajo, velocidad de avance, potencia útil y capacidad efectiva de trabajo, indicadores ampliamente utilizados para evaluar el desempeño de maquinaria agrícola (Kepner et al., 1987; Hunt & Wilson, 2016; ASABE, 2020). Asimismo, se evaluó la eficiencia de control mecánico de malezas mediante diferentes accesorios de trabajo, parámetro considerado fundamental en la evaluación de equipos de deshierbo mecánico (Alizadeh, 2011; Tiwari et al., 2014).

La investigación se justifica porque proporciona información técnica sobre el desempeño de una alternativa de mecanización agrícola ligera que puede ser utilizada por pequeños productores para mejorar la eficiencia de las labores de manejo de malezas. Además, los resultados obtenidos constituyen una referencia para futuras investigaciones relacionadas con la evaluación de equipos agrícolas y la mecanización apropiada en sistemas de agricultura familiar.

El objetivo general de la investigación fue evaluar los parámetros técnicos y agrotécnicos de una desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52 durante labores de control mecánico de malezas en cultivos representativos de la región Ayacucho. Para alcanzar este propósito, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Describir las características, componentes, funcionamiento y operación de la desmalezadora
2. Evaluar su desempeño técnico-operativo mediante la determinación del consumo de combustible, fuerza de trabajo, velocidad de avance, potencia útil y capacidad de trabajo.
3. Evaluar los parámetros agrotécnicos mediante la determinación de la eficiencia de control mecánico de malezas utilizando diferentes accesorios en cultivos representativos de la región Ayacucho.

CAPÍTULO I

1. Marco teórico

1.1 Antecedentes de la investigación

1.1.1 Antecedentes a nivel internacional

Alizadeh (2011) evaluó el desempeño de diferentes desmalezadoras mecánicas empleadas en el cultivo de arroz, con el objetivo de comparar su eficiencia respecto al deshierbo manual. La metodología consistió en ensayos experimentales bajo condiciones de campo, considerando variables como capacidad efectiva de trabajo y eficiencia de control de malezas. Los resultados evidenciaron un incremento significativo de la productividad y una reducción de la demanda de mano de obra. El autor concluyó que la mecanización del control de malezas constituye una alternativa eficiente para mejorar la productividad agrícola. Este antecedente guarda relación con la presente investigación debido a que evalúa parámetros de capacidad de trabajo y eficiencia de control de malezas.

Morales (2020) evaluó un sistema de mecanización para el mantenimiento del cultivo de café conformado por una desmalezadora, pulverizadora y abonadora adaptadas a una motocicleta con base triciclo. Los resultados evidenciaron una mejora en la eficiencia de las labores agrícolas y una reducción del tiempo requerido para las operaciones de mantenimiento. El autor concluyó que la mecanización ligera representa una alternativa viable para pequeñas y medianas explotaciones agrícolas. Este estudio se relaciona con la presente investigación debido al empleo de equipos motorizados para el control y manejo de la vegetación.

Segovia (2021) desarrolló un deshierbador manual para pequeñas áreas de terreno mediante simulaciones estructurales y análisis de resistencia mecánica. Los resultados demostraron que el implemento presenta condiciones adecuadas para su utilización en labores agrícolas. El autor concluyó que este tipo de equipos constituye una alternativa viable para pequeños productores. Este antecedente es relevante debido a que aborda aspectos relacionados con el diseño y evaluación de implementos para el control mecánico de malezas.

Otañez y Granja (2021) diseñaron y construyeron una deshierbadora mecánica para cultivos de ciclo corto utilizando una desmalezadora como unidad motriz. Los resultados demostraron un comportamiento satisfactorio del equipo durante las pruebas

de funcionamiento. Los autores concluyeron que la adaptación de desmalezadoras constituye una alternativa tecnológica para mejorar las labores de control mecánico de malezas. Este antecedente presenta una relación directa con la presente investigación debido al empleo de una desmalezadora para labores de control de malezas.

1.1.2 Antecedentes a nivel nacional

Tejada-Campos (2022) desarrolló la Cultivadora INIA para agricultura familiar, obteniendo prototipos funcionales que permitieron reducir los costos y la demanda de mano de obra en labores de deshierba y aporque. El autor concluyó que la mecanización apropiada representa una alternativa eficiente para incrementar la productividad agrícola. Este antecedente guarda relación con la presente investigación debido al uso de equipos de mecanización ligera.

Benavides Hatakeda (2016) diseñó un sistema automático de control mecánico de malezas en cultivos de algodón, logrando disminuir la intervención manual y reducir el uso de herbicidas. El autor concluyó que la automatización aplicada al control mecánico constituye una alternativa sostenible para la agricultura. Este antecedente se relaciona con la presente investigación debido al empleo de tecnologías destinadas al control mecánico de malezas.

Requejo Gonzáles (2014) comparó métodos manuales, mecánicos y químicos de control de malezas en cacao, concluyendo que el control mecánico representa una alternativa eficiente para reducir la competencia de malezas y disminuir costos de producción. Este antecedente guarda relación con la presente investigación debido a que destaca la importancia del control mecánico de malezas en sistemas agrícolas sostenibles.

1.1.3 Antecedentes a nivel local

Rivera Huamancusi (2021) adaptó y evaluó una cultivadora multiuso de tracción mecánica para labores de escarda y aporque en cultivos alimenticios de la región Ayacucho. Los resultados evidenciaron una reducción de costos y una adecuada capacidad de trabajo. El autor concluyó que la mecanización ligera constituye una alternativa viable para incrementar la eficiencia de las labores agrícolas. Este antecedente guarda relación con la presente investigación debido a que evalúa parámetros técnicos de equipos agrícolas en condiciones similares a las de la región Ayacucho.

Aguilar Ochoa (2021) evaluó técnica y operativamente una motocultivadora AMEC en labores de preparación de suelos en Ayacucho. Los resultados demostraron un comportamiento satisfactorio del equipo durante las operaciones de campo. El autor concluyó que la mecanización agrícola contribuye a mejorar la eficiencia de las labores agrícolas. Este antecedente es importante debido a que analiza parámetros técnicos de maquinaria agrícola bajo condiciones agroecológicas similares a las consideradas en la presente investigación.

Tabla 1

Síntesis de los antecedentes de investigación relacionados con el control mecánico de malezas y la mecanización agrícola.

Autor (año)	Objetivo del estudio	Metodología	Resultados principales	Conclusión
Alizadeh (2011)	Evaluar desmalezadoras en arroz.	Ensayos de campo.	Mayor productividad y menor mano de obra.	El control mecánico mejora la eficiencia agrícola.
Morales (2020)	Evaluar un sistema mecanizado para café.	Evaluación de campo.	Mayor eficiencia y menor tiempo de trabajo.	La mecanización ligera es una alternativa viable.
Segovia (2021)	Desarrollar un deshiebador manual.	Diseño y pruebas mecánicas.	Funcionamiento satisfactorio.	Es viable para pequeños productores.
Otañez y Granja (2021)	Diseñar una deshiebadora mecánica.	Diseño y pruebas de campo.	Desempeño satisfactorio.	La desmalezadora mejora el control de malezas.
Tejada-Campos (2022)	Desarrollar la Cultivadora INIA.	Diseño y evaluación.	Reducción de costos y mano de obra.	Incrementa la productividad agrícola.
Benavides Hatakeda (2016)	Diseñar un sistema de control de malezas.	Desarrollo automatizado.	Menor trabajo manual y uso de herbicidas.	Favorece un manejo sostenible.
Requejo Gonzáles (2014)	Comparar métodos de control de malezas.	Evaluación comparativa.	Reducción de costos y competencia de malezas.	El control mecánico es una alternativa eficiente.
Rivera Huamancusi (2021)	Evaluar una cultivadora multiuso.	Pruebas de campo.	Mayor capacidad de trabajo y menor costo.	La mecanización ligera mejora la eficiencia.
Aguilar Ochoa (2021)	Evaluar una motocultivadora AMEC.	Ensayos de campo.	Desempeño satisfactorio.	La mecanización optimiza las labores agrícolas.

1.2 Bases teóricas

1.2.1 Mecanización agrícola

La mecanización agrícola comprende la utilización de herramientas, máquinas y equipos destinados a incrementar la productividad y eficiencia de las labores agrícolas, reduciendo la dependencia de la mano de obra y mejorando las condiciones de trabajo del agricultor. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022), la mecanización constituye un componente fundamental para lograr sistemas agrícolas sostenibles y fortalecer la agricultura familiar mediante el acceso a tecnologías apropiadas.

Bashir et al. (2023) señalan que la mecanización agrícola moderna no solamente comprende el uso de maquinaria convencional, sino también la integración de tecnologías que permitan optimizar los procesos productivos y mejorar la eficiencia en las operaciones agrícolas. Asimismo, la FAO (2021) indica que la mecanización debe adaptarse a las condiciones económicas y sociales de los pequeños productores, promoviendo el uso de equipos de pequeña escala y bajo costo.

Durante las últimas décadas, la mecanización agrícola ha experimentado una transformación significativa, impulsada por los avances en automatización, electrónica y sistemas de información. Las tecnologías innovadoras, como la agricultura de precisión, los sensores IoT (Internet de las Cosas), los sistemas de navegación GPS y los drones agrícolas, han permitido optimizar el uso de insumos y reducir el impacto ambiental. Estas herramientas proporcionan información en tiempo real sobre el estado del cultivo y del suelo, mejorando la toma de decisiones y la sostenibilidad del sistema productivo (Bashir et al., 2023).

En países en desarrollo, uno de los principales desafíos de la mecanización agrícola consiste en adaptar las innovaciones tecnológicas a equipos ligeros, económicos y funcionales, capaces de operar en pequeñas parcelas y en condiciones topográficas complejas. En este contexto, la mecanización apropiada, entendida como aquella que se ajusta a las condiciones económicas, técnicas y ambientales de los pequeños productores, constituye una alternativa viable para fortalecer la productividad y promover el desarrollo rural sostenible (FAO, 2022). Bajo este enfoque la desmalezadora motorizada a rueda como la BONELLY BNTT52, representan una opción tecnológica que integra eficiencias operativas, ergonómica y accesibilidad para las labores de control de malezas.

1.2.2 Tecnologías en la mecanización agrícola

La mecanización puede clasificarse según la fuente de energía utilizada para ejecutar las labores de campo. De acuerdo con Hunt (2016) y la FAO (2021), se reconocen tres niveles tecnológicos principales: tecnologías con herramientas manuales, tecnologías de tracción animal y tecnologías de tracción mecánica. Cada una presenta ventajas, desventajas y ámbitos de aplicación específicos, como se detalla a continuación.

1.2.3.1 Tecnologías con herramientas manuales. Estas tecnologías se basan en la energía humana para la operación de implementos agrícolas simples, tales como palas, azadones, rastrillos, sembradoras y desmalezadoras con ruedas. Su principal ventaja radica en el bajo costo, la fácil disponibilidad y el mantenimiento mínimo requerido. Son especialmente útiles en terrenos pequeños, de topografía irregular o donde no existen recursos para adquirir maquinaria. Sin embargo, presentan limitaciones en la capacidad de trabajo y en la exigencia física del operador (FAO, 2022).

1.2.3.2 Tecnologías de tracción animal. Este nivel intermedio utiliza la fuerza de animales domésticos (bueyes, caballos, burros o llamas) para arrastrar implementos agrícolas. Es una tecnología de bajo costo operativo y ambientalmente sostenible, ya que emplea recursos renovables y locales. Sus ventajas incluyen la reducción del esfuerzo humano y la posibilidad de abarcar superficies mayores que con herramientas manuales. No obstante, su desempeño depende del estado físico de los animales, las condiciones del terreno y la disponibilidad de pastos. Además, la velocidad de trabajo es relativamente baja, lo que limita su productividad (Hunt, 2016; FAO, 2021).

1.2.3.3 Tecnologías de tracción mecánica. Este nivel involucra el uso de motores de combustión interna o eléctricos, acoplados a tractores, motocultores o implementos autopropulsados. La mecanización mecánica ofrece una alta capacidad de trabajo, precisión y uniformidad, reduciendo el tiempo y la mano de obra. Entre sus ventajas destacan la eficiencia operativa, la versatilidad y la posibilidad de integración con tecnologías inteligentes. Sin embargo, su adopción implica altos costos de inversión, mantenimiento especializado y dependencia de combustibles fósiles, lo cual puede limitar su aplicación en pequeñas explotaciones agrícolas (Bashir et al., 2023).

Tabla 2*Comparación de tecnologías de mecanización agrícola*

Nivel de mecanización	Fuente de energía	Ventajas	Limitaciones	Ámbito de aplicación
Implementos manuales	Humana	Bajo costo y fácil mantenimiento.	Bajo rendimiento y alta demanda física.	Agricultura familiar.
Tracción animal	Animal	Bajo costo operativo y buena adaptación.	Baja velocidad y menor precisión.	Pequeñas parcelas.
Tracción motorizada	Motor	Alta capacidad y eficiencia.	Alto costo y mantenimiento especializado.	Agricultura comercial.

Nota. De los niveles de mecanización descritos, la presente investigación se enmarca dentro de la tracción motorizada ligera, específicamente en la evaluación de una desmalezadora a ruedas BONELLY BNTT52, cuyo uso representa una alternativa de mecanización apropiada para pequeños productores agrícolas de la región Ayacucho.

1.2.3 Mecanización agrícola ligera

La mecanización agrícola ligera comprende el empleo de equipos de pequeña potencia diseñados para realizar labores agrícolas en explotaciones de reducida superficie, permitiendo disminuir la demanda de mano de obra y mejorar la eficiencia operativa. Hunt (2016) menciona que este tipo de mecanización resulta particularmente apropiado para sistemas agrícolas donde el uso de tractores convencionales es limitado por razones económicas o por las características topográficas del terreno.

De acuerdo con Kepner et al. (1987), los equipos de mecanización ligera presentan ventajas relacionadas con su bajo costo de adquisición, facilidad de operación y adaptabilidad a diferentes labores agrícolas. Asimismo, la FAO (2022) destaca que este tipo de tecnología constituye una alternativa viable para fortalecer la agricultura familiar y promover la sostenibilidad de los sistemas productivos.

1.2.4 Control mecánico de malezas

El control mecánico de malezas consiste en la eliminación o reducción de las especies vegetales indeseables mediante métodos físicos como corte, remoción, escarda o desarraigo. García y Fernández-Quintanilla (1991) indican que esta práctica

permite disminuir la competencia por agua, nutrientes, luz y espacio entre las malezas y el cultivo principal.

Young y Pierce (2014) señalan que el control mecánico constituye una alternativa sostenible frente al uso excesivo de herbicidas, contribuyendo a disminuir el impacto ambiental y mejorar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Por su parte, Chatizwa (1997) menciona que la eficiencia del control depende del tipo de implemento utilizado, del estado de desarrollo de las malezas y de las condiciones del suelo.

1.2.5 Desmalezadora agrícola

La desmalezadora agrícola es una máquina portátil de pequeña potencia utilizada para realizar labores de corte y control de vegetación mediante diferentes accesorios intercambiables. Este equipo está compuesto principalmente por un motor de combustión interna, un sistema de transmisión, un eje de accionamiento y un elemento de corte, permitiendo ejecutar operaciones de desbroce, limpieza y control mecánico de malezas en diversos sistemas agrícolas. Hunt (2016) señala que las máquinas de mecanización ligera constituyen una alternativa eficiente para incrementar la productividad y reducir la demanda de mano de obra en pequeñas explotaciones agrícolas, especialmente en terrenos donde el uso de maquinaria convencional resulta limitado.

Según Kepner et al. (1987), las máquinas agrícolas de pequeña potencia presentan ventajas relacionadas con su facilidad de operación, bajo costo de inversión y adaptabilidad a diferentes labores, características que favorecen su utilización en sistemas de agricultura familiar. En este contexto, la desmalezadora constituye una herramienta versátil capaz de emplearse en labores de corte de malezas, mantenimiento de áreas verdes y manejo de cultivos mediante la incorporación de diversos accesorios.

La desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52 pertenece al grupo de equipos de mecanización agrícola ligera y dispone de un motor de dos tiempos con potencia nominal de 1 HP, sistema de desplazamiento mediante ruedas y capacidad para trabajar con distintos implementos, tales como cabezal de hilo de nylon, cuchilla de dos puntas, disco de sierra circular y fresa de escardado. Estas características permiten ampliar su rango de aplicación en labores de control mecánico de malezas y mantenimiento de cultivos.

Desde el punto de vista operativo, la utilización de desmalezadoras ofrece ventajas relacionadas con la reducción del esfuerzo físico, la disminución del tiempo requerido para las labores de control de malezas y la posibilidad de intervenir en parcelas de pequeña extensión y terrenos con pendientes pronunciadas, condiciones predominantes en la agricultura familiar de la región Ayacucho. Asimismo, Otañez y Granja (2021) demostraron que la adaptación de desmalezadoras para labores de deshierbo constituye una alternativa tecnológica viable para pequeños productores, debido a su facilidad de operación y capacidad de trabajo.

La eficiencia y versatilidad de estos equipos dependen, en gran medida, de la correcta selección del accesorio de trabajo y de las condiciones del cultivo y de la vegetación presente. Por ello, la desmalezadora agrícola representa una alternativa de mecanización apropiada para las labores de control mecánico de malezas, contribuyendo a mejorar la eficiencia de las operaciones agrícolas y a disminuir la dependencia del trabajo manual.

1.2.6 Clasificación de desmalezadoras manuales y de tracción asistida

El control de malezas representa una actividad fundamental dentro del manejo de los cultivos, debido a que las plantas no deseadas generan competencia por recursos indispensables como agua, nutrientes, luz y espacio. Tradicionalmente, esta labor se ha realizado mediante herramientas manuales como azadones y escardillos; sin embargo, estos métodos requieren mayor inversión de tiempo y esfuerzo físico por parte del agricultor.

Debido a estas limitaciones, se han desarrollado diferentes tipos de desmalezadoras manuales y equipos de tracción asistida, orientados a mejorar la eficiencia de la labor agrícola y disminuir la carga física del operador. Según Singh y Kumar (2019), estos implementos forman parte de la mecanización intermedia, debido a que emplean mecanismos simples accionados por la fuerza humana, animal o motores de baja potencia, sin requerir sistemas complejos de mecanización.

La clasificación de estos equipos depende principalmente del sistema de accionamiento, configuración estructural y características del órgano de trabajo. Entre los principales tipos empleados en sistemas agrícolas tradicionales y semi mecanizados se encuentran los siguientes:

1.2.6.1 Desmalezadora tipo azadón o escardillo. Es uno de los implementos manuales más utilizados para el control de malezas. Está conformado por una hoja metálica y un mango, permitiendo realizar cortes superficiales y remover pequeñas capas de suelo alrededor del cultivo. Presenta bajo costo y fácil manejo; sin embargo, requiere mayor esfuerzo físico y tiene baja capacidad de trabajo en áreas extensas.

1.2.6.2 Desmalezadora tipo oscilante o de estribo. Está constituida por una hoja metálica en forma de “U” que realiza cortes horizontales mediante movimientos de avance y retroceso. Permite un deshierbo uniforme con menor resistencia al desplazamiento, aunque su eficiencia disminuye en suelos compactados o pedregosos. Es utilizada principalmente en cultivos como quinua, frijol y hortalizas.

1.2.6.3 Desmalezadora rotativa manual. Este implemento utiliza cuchillas giratorias accionadas por el movimiento del operador mediante un sistema mecánico. Su diseño permite mejorar la uniformidad del corte y reducir el esfuerzo físico; no obstante, requiere mayor mantenimiento debido a sus componentes móviles. Se emplea principalmente en cultivos establecidos en hileras.

1.2.6.4 Desmalezadora manual con ruedas. Las desmalezadoras con ruedas incorporan un sistema de desplazamiento que facilita la movilidad y estabilidad durante la labor. El órgano de trabajo puede estar compuesto por cuchillas o rejas que permiten cortar o remover malezas. Su principal ventaja es la reducción del esfuerzo del operador y la posibilidad de regular parámetros como profundidad y ancho de trabajo.

1.2.6.5 Desmalezadora de tracción asistida. Las desmalezadoras a ruedas de tracción asistida comprenden implementos que utilizan como fuente de energía animales de trabajo o equipos motorizados de baja potencia, como motocultores. Estos sistemas permiten incrementar la superficie trabajada y disminuir la participación directa del esfuerzo humano.

Entre sus principales ventajas se encuentra una mayor capacidad operativa y reducción del tiempo requerido para la eliminación de malezas. Sin embargo, su implementación implica mayores costos iniciales, disponibilidad de equipos o animales y actividades de mantenimiento preventivo.

Su aplicación se orienta principalmente a unidades productivas de mayor superficie y terrenos con condiciones adecuadas para la mecanización.

Tabla 3*Tipos de desmalezadoras manuales y de tracción asistida*

Tipo de desmalezadora	Forma de trabajo	Ventajas	Limitaciones	Aplicación
Azadón o escardillo	Corte manual de malezas y remoción superficial del suelo.	Bajo costo y fácil manejo.	Mayor esfuerzo físico y bajo rendimiento.	Pequeñas parcelas.
Tipo oscilante (“stirrup hoe”)	Corte mediante movimiento de avance y retroceso.	Corte uniforme y menor esfuerzo.	Baja eficiencia en suelos duros.	Quinua, frijol y hortalizas.
Rotativa manual	Cuchillas accionadas por el desplazamiento del operador.	Mayor uniformidad y menor fatiga.	Mayor costo y mantenimiento.	Maíz, arroz y soya.
Manual con ruedas (“wheel hoe”)	Desplazamiento con ruedas y órgano de corte.	Mayor estabilidad y ergonomía.	Limitada en terrenos pedregosos.	Maíz, papa y quinua.
Tracción asistida	Desplazamiento mediante fuerza animal o motorizada.	Mayor capacidad de trabajo.	Mayor inversión y mantenimiento.	Cultivos de mediana escala.

Nota. La desmalezadora a ruedas BONELLY BNTT52, pertenece al grupo de equipos motorizados ligeros, debido a que utiliza un sistema de accionamiento mediante motor para transmitir movimiento al órgano de trabajo encargado del corte de malezas. Este tipo de equipo permite incrementar la capacidad operativa y reducir el esfuerzo físico del operador en comparación con las herramientas manuales tradicionales.

1.2.7 Componentes y accesorios de la desmalezadora BONELLY BNTT52

La desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52 es un equipo de mecanización agrícola ligera compuesto por un conjunto de elementos mecánicos que permiten transformar la energía generada por el motor en movimiento rotativo para efectuar labores de corte y control mecánico de malezas. La versatilidad del equipo se debe principalmente a la posibilidad de incorporar diferentes accesorios de trabajo según las características de la vegetación y las condiciones del cultivo. Según Hunt (2016), la adaptabilidad de los implementos constituye una de las principales ventajas de los equipos de pequeña potencia utilizados en agricultura. Asimismo, Kepner et al. (1987)

indican que la selección adecuada del implemento permite mejorar la eficiencia y ampliar las aplicaciones de la máquina.

1.2.7.1 Motor de dos tiempos. El motor constituye la fuente de potencia de la desmalezadora y transforma la energía química del combustible en energía mecánica. Los motores de dos tiempos se caracterizan por completar un ciclo de trabajo en dos carreras del pistón y una revolución del cigüeñal, presentando una elevada relación potencia-peso y simplicidad constructiva. Estas características hacen que sean ampliamente utilizados en equipos portátiles y de mecanización ligera (Hunt, 2016).

La desmalezadora BONELLY BNTT52 dispone de un motor de dos tiempos con potencia nominal de 1 HP, suficiente para accionar diferentes accesorios destinados al control de malezas y mantenimiento de cultivos.

1.2.7.2 Sistema de transmisión. El sistema de transmisión permite transmitir el movimiento generado por el motor hacia el mecanismo de corte mediante un eje de accionamiento y una caja reductora ubicada en el extremo inferior del equipo. De acuerdo con Kepner et al. (1987), la transmisión constituye un elemento fundamental para garantizar la eficiencia y estabilidad de operación de las máquinas agrícolas.

1.2.7.3 Cabezal de hilo de nylon. El cabezal de hilo de nylon está constituido por un carrete que incorpora filamentos sintéticos de alta resistencia. Su funcionamiento se basa en el efecto de corte producido por la elevada velocidad angular del hilo, siendo apropiado para el corte de césped, malezas tiernas y vegetación herbácea de baja resistencia. Este accesorio permite trabajar con seguridad alrededor de plantas cultivadas y obstáculos, minimizando daños mecánicos.

1.2.7.4 Cuchilla de dos puntas. La cuchilla de dos puntas es ampliamente utilizada para el corte de malezas densas, forrajes y vegetación de consistencia media. Su estructura metálica proporciona mayor rigidez y resistencia, permitiendo incrementar la capacidad de corte y mejorar el desempeño en comparación con los cabezales de hilo de nylon (Hunt & Wilson, 2016).

1.2.7.5 Disco de sierra circular. El disco de sierra circular está conformado por una estructura metálica provista de dientes cortantes, diseñada para intervenir sobre vegetación más lignificada y tallos de mayor diámetro. Este implemento presenta una

elevada capacidad de penetración y resistencia al desgaste, permitiendo efectuar labores de limpieza y desbroce de vegetación densa.

1.2.7.6 Fresa de escardado (estrella). La fresa de escardado está constituida por discos metálicos dentados que giran sobre el eje de trabajo y actúan mediante corte superficial y remoción ligera del suelo. Este implemento permite eliminar malezas jóvenes mediante el desarraigo y la interrupción de su sistema radicular. Otañez y Granja (2021) señalan que los accesorios rotativos empleados en labores de deshierbo representan una alternativa eficiente para pequeños productores debido a su simplicidad y facilidad de operación.

1.2.7.7 Rotocultor (fresas de arado). El rotocultor o fresa de arado es un implemento agrícola compuesto por cuchillas giratorias instaladas sobre un eje de trabajo, cuya función es remover, fragmentar y acondicionar superficialmente el suelo. Su acción permite controlar malezas jóvenes, incorporar residuos vegetales y mejorar las condiciones del terreno. Según Kepner et al. (1987), los implementos rotativos favorecen una preparación uniforme del suelo debido a la acción de corte y mezcla generada por sus órganos de trabajo. En equipos de mecanización ligera, este accesorio representa una alternativa eficiente para labores de escardado y preparación superficial en pequeñas parcelas.

Tabla 4

Accesorios principales de la desmalezadora BONELLY BNTT52

Componente / accesorio	Característica técnica	Función principal	Aplicación
Cabezal de hilo de nylon	Filamentos de alta resistencia.	Corte de vegetación ligera.	Césped y malezas tiernas.
Cuchilla de dos puntas	Elemento metálico de corte.	Corte de malezas densas.	Vegetación media y forrajes.
Disco de sierra circular	Disco dentado de alta resistencia.	Corte de vegetación leñosa.	Desbroce de áreas densas.
Fresa de escardado (estrella)	Discos metálicos dentados.	Corte y remoción superficial.	Control de malezas jóvenes.
Rotocultor (fresas de arado)	Cuchillas giratorias sobre eje.	Remover y acondicionar el suelo.	Escardado y preparación superficial.

Nota. Elaboración propia.

1.2.8 Parámetros técnicos de evaluación

Los parámetros técnicos constituyen indicadores cuantitativos que permiten determinar el comportamiento operativo y el desempeño de las máquinas agrícolas durante la ejecución de una labor determinada. Según Hunt (2016), estos parámetros son fundamentales para evaluar la eficiencia energética, la capacidad de trabajo y las condiciones de funcionamiento de los equipos agrícolas. De igual manera, Kepner et al. (1987) señalan que el análisis de variables técnicas permite comparar el rendimiento de las máquinas y establecer criterios para su selección y utilización racional.

En la presente investigación, la evaluación técnica de la desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52 comprendió la determinación del consumo de combustible, fuerza de trabajo, velocidad de avance, potencia útil y capacidad de trabajo.

1.2.8.1 Consumo de combustible. El consumo de combustible representa la cantidad de combustible utilizada por un motor durante la realización de una determinada operación agrícola y constituye uno de los principales indicadores de eficiencia energética. Hunt (2016) menciona que el consumo de combustible depende de factores como la potencia requerida, las condiciones del terreno, el tipo de implemento utilizado y las características propias del motor.

La determinación del consumo de combustible permite evaluar el comportamiento energético de la máquina y estimar los costos de operación asociados a la labor agrícola.

1.2.8.2 Fuerza de trabajo. La fuerza de trabajo corresponde a la fuerza requerida para desplazar y operar el equipo durante una determinada labor agrícola. Kepner et al. (1987) indican que la fuerza requerida depende de la resistencia ofrecida por el suelo, la vegetación y las características del implemento empleado.

El conocimiento de esta variable permite determinar la demanda energética del equipo y constituye un parámetro básico para el cálculo de la potencia útil.

1.2.8.3 Velocidad de avance. La velocidad de avance se define como la distancia recorrida por una máquina por unidad de tiempo durante la ejecución de una labor agrícola. Según Hunt (2016), la velocidad de operación influye directamente sobre

la capacidad de trabajo y la eficiencia del equipo, por lo que debe mantenerse dentro de rangos adecuados para garantizar una labor eficiente y uniforme.

La velocidad depende de las características del terreno, la potencia disponible y el tipo de implemento utilizado.

1.2.8.4 Potencia útil. La potencia útil corresponde a la cantidad de trabajo desarrollado por unidad de tiempo y constituye un indicador del rendimiento efectivo de una máquina agrícola. De acuerdo con Kepner et al. (1987), la potencia puede determinarse mediante el producto de la fuerza desarrollada y la velocidad de desplazamiento.

$$P = F \times V$$

donde:

- **P** = potencia útil (W o kW).
- **F** = fuerza de trabajo (N).
- **V** = velocidad de avance (m s^{-1}).

La potencia útil permite cuantificar la energía efectivamente empleada durante la operación y constituye un parámetro importante para evaluar el comportamiento técnico del equipo.

1.2.8.5 Capacidad de trabajo. La capacidad de trabajo expresa la superficie que una máquina puede cubrir por unidad de tiempo y representa uno de los parámetros más importantes para evaluar el desempeño operacional. Según ASABE (2020), la capacidad de trabajo puede clasificarse en capacidad teórica y capacidad efectiva.

1.2.8.5.1 Capacidad teórica de trabajo. La capacidad teórica corresponde a la máxima superficie que puede cubrir una máquina en condiciones ideales, sin considerar pérdidas de tiempo.

$$CT = (A \times V) / 10$$

donde:

- **CT** = capacidad teórica (ha h^{-1}).
- **A** = ancho efectivo de trabajo (m).
- **V** = velocidad de avance (km h^{-1}).

1.2.8.5.2 Capacidad efectiva de trabajo. La capacidad efectiva considera las pérdidas ocasionadas por maniobras y otras interrupciones durante la operación.

$$CE = CT \times Ef$$

donde:

- **CE** = capacidad efectiva de trabajo (ha h^{-1}).
- **CT** = capacidad teórica (ha h^{-1}).
- **Ef** = eficiencia de campo.

La capacidad efectiva constituye un indicador ampliamente utilizado para evaluar el rendimiento real de las máquinas agrícolas y establecer criterios de comparación entre equipos y métodos de trabajo.

1.2.9 Parámetros agrotécnicos

Los parámetros agrotécnicos corresponden a los indicadores que permiten evaluar la calidad y efectividad de las labores agrícolas realizadas por una máquina o implemento sobre el cultivo y las malezas. Según Hunt y Wilson (2016), estos parámetros permiten determinar el grado de cumplimiento de los objetivos agronómicos de una operación mecanizada, constituyendo una herramienta importante para evaluar el desempeño de los equipos agrícolas. En el caso del control mecánico de malezas, la eficiencia de control representa uno de los principales indicadores para valorar la efectividad de los implementos utilizados.

En la presente investigación, el parámetro agrotécnico evaluado fue la eficiencia de control mecánico de malezas, considerando diferentes accesorios y cultivos representativos de la región Ayacucho.

1.2.9.1 Eficiencia de control mecánico de malezas. La eficiencia de control mecánico de malezas expresa el grado de reducción de la población o cobertura de malezas después de una operación de deshierbo, constituyendo un indicador del

desempeño agronómico de los implementos utilizados. García y Fernández-Quintanilla (1991) señalan que el control mecánico tiene como finalidad disminuir la competencia ejercida por las malezas sobre los cultivos mediante acciones físicas como corte, remoción o desarraigo.

Young y Pierce (2014) indican que la efectividad del control mecánico depende de diversos factores, entre ellos el tipo de implemento, la especie de maleza, el estado fenológico de la vegetación y las condiciones del suelo. Asimismo, Chatizwa (1997) menciona que los implementos mecánicos presentan mejores resultados cuando las malezas son intervenidas en etapas tempranas de desarrollo.

Alizadeh (2011), en la evaluación de desmalezadoras mecánicas en arroz, empleó la eficiencia de control de malezas como uno de los principales parámetros para comparar el desempeño de los equipos, obteniendo resultados satisfactorios que evidenciaron la importancia de este indicador en la evaluación de máquinas destinadas al control de malezas. Del mismo modo, Tiwari et al. (2014) utilizaron la eficiencia de deshierbo para evaluar un desmalezador rotatorio en cultivos hortícolas, reportando niveles de control superiores al 90 %.

La eficiencia de control mecánico de malezas puede determinarse mediante la relación entre la cantidad inicial de malezas presentes antes de la operación y la cantidad remanente después de la intervención mecánica:

$$ECM = [(M_i - M_f) / M_i] \times 100$$

donde:

- **ECM** = eficiencia de control mecánico de malezas (%).
- **M_i** = cantidad inicial de malezas.
- **M_f** = cantidad final de malezas después del tratamiento.

Este parámetro permite cuantificar el grado de reducción de las malezas y comparar el comportamiento de diferentes accesorios bajo distintas condiciones de cultivo.

En sistemas agrícolas de pequeña escala, el control mecánico constituye una alternativa sostenible y ambientalmente amigable, debido a que reduce la dependencia

de herbicidas y favorece prácticas de manejo compatibles con la agricultura sostenible (Young & Pierce, 2014).

1.2.10 Agricultura familiar y mecanización apropiada

La agricultura familiar constituye uno de los principales sistemas de producción agrícola a nivel mundial y desempeña un papel fundamental en la seguridad alimentaria, la generación de empleo y el desarrollo rural sostenible. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022), la agricultura familiar comprende unidades productivas administradas y operadas por una familia, en las cuales la mano de obra es aportada principalmente por sus integrantes, caracterizándose por disponer de superficies reducidas y recursos limitados.

En América Latina y el Perú, la agricultura familiar representa un sector estratégico debido a su contribución a la producción de alimentos y al sostenimiento de las economías rurales. Sin embargo, la baja disponibilidad de maquinaria y el predominio de labores manuales constituyen factores que limitan la productividad y elevan los costos de producción. En este contexto, la mecanización apropiada surge como una alternativa para incrementar la eficiencia de las labores agrícolas y mejorar las condiciones de trabajo de los pequeños productores (FAO, 2021).

De acuerdo con Bashir et al. (2023), la mecanización sostenible debe orientarse hacia el empleo de tecnologías adecuadas a las condiciones económicas y sociales de los agricultores, priorizando equipos de pequeña potencia, bajo costo y fácil operación. Estos equipos permiten optimizar las labores agrícolas y disminuir la dependencia de mano de obra, contribuyendo a incrementar la productividad y la rentabilidad de las explotaciones agrícolas.

La FAO (2022) señala que la mecanización apropiada no necesariamente implica el uso de maquinaria de gran tamaño, sino la incorporación de equipos adaptados a las necesidades de los pequeños productores y a las características agroecológicas de cada región. Entre estos equipos destacan las desmalezadoras, motocultores y cultivadoras de pequeña potencia, cuya versatilidad y facilidad de operación favorecen su utilización en sistemas de agricultura familiar.

Tejada-Campos (2022), durante el desarrollo de la Cultivadora INIA para agricultura familiar, demostró que la incorporación de tecnologías de mecanización ligera permite reducir los requerimientos de mano de obra y mejorar la eficiencia de las

labores agrícolas, favoreciendo la sostenibilidad de los sistemas productivos. Asimismo, el autor destaca que este tipo de tecnologías resulta particularmente adecuado para pequeñas explotaciones agrícolas, donde las limitaciones económicas dificultan la adquisición de maquinaria convencional.

En la región Ayacucho predominan sistemas de producción de pequeña escala y parcelas con topografía variable, condiciones que restringen el empleo de tractores de gran potencia. En este contexto, la utilización de equipos de mecanización ligera, como la desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52, constituye una alternativa tecnológica apropiada para efectuar labores de control mecánico de malezas, contribuyendo a reducir el esfuerzo físico, optimizar el tiempo de trabajo y mejorar la eficiencia de las operaciones agrícolas.

En consecuencia, la mecanización apropiada representa una herramienta fundamental para fortalecer la agricultura familiar, mejorar la productividad y promover sistemas agrícolas más sostenibles y competitivos.

1.3 Definición de términos básicos

Mecanización agrícola. Aplicación de máquinas, equipos y herramientas para incrementar la eficiencia, productividad y calidad de las labores agrícolas, reduciendo la dependencia de la mano de obra y optimizando el uso de los recursos disponibles (FAO, 2022).

Mecanización agrícola ligera. Conjunto de equipos de pequeña potencia diseñados para realizar labores agrícolas en explotaciones de pequeña escala, caracterizados por su bajo costo, facilidad de operación y adaptabilidad a diferentes condiciones de trabajo (Hunt, 2016).

Desmalezadora agrícola. Máquina de pequeña potencia utilizada para efectuar labores de corte y control de vegetación mediante diferentes accesorios intercambiables, permitiendo el manejo mecánico de malezas y el mantenimiento de áreas cultivadas (Kepner et al., 1987).

Control mecánico de malezas. Método de manejo de malezas basado en la eliminación o reducción de la vegetación indeseable mediante acciones físicas como

corte, remoción o desarraigo, disminuyendo la competencia con el cultivo principal (García y Fernández-Quintanilla, 1991).

Maleza. Planta que crece en un lugar no deseado y que compite con los cultivos por agua, luz, nutrientes y espacio, afectando el rendimiento y desarrollo de las especies cultivadas (Young y Pierce, 2014).

Consumo de combustible. Cantidad de combustible utilizada por un motor durante la realización de una operación agrícola en un tiempo determinado, constituyendo un indicador de eficiencia energética (Hunt, 2016).

Fuerza de trabajo. Fuerza requerida para desplazar y operar una máquina agrícola durante la ejecución de una determinada labor (Kepner et al., 1987).

Velocidad de avance. Distancia recorrida por una máquina por unidad de tiempo durante la ejecución de una operación agrícola, generalmente expresada en km h^{-1} (ASABE, 2020).

Potencia útil. Cantidad de trabajo desarrollado por unidad de tiempo durante la operación de una máquina agrícola, expresada generalmente en watts (W) o kilowatts (kW) (Kepner et al., 1987).

Capacidad de trabajo. Superficie cubierta por una máquina agrícola por unidad de tiempo, expresada normalmente en hectáreas por hora (ha h^{-1}), y clasificada en capacidad teórica y capacidad efectiva (ASABE, 2020).

Eficiencia de control mecánico de malezas. Porcentaje de reducción de la población o cobertura de malezas después de una operación de deshierbo, utilizado como indicador del desempeño agronómico de los implementos empleados (Alizadeh, 2011).

Cabezal de hilo de nylon. Accesorio de corte constituido por filamentos sintéticos de alta resistencia, utilizado principalmente para el control de malezas tiernas y vegetación herbácea.

Cuchilla de dos puntas. Implemento metálico de corte empleado para eliminar vegetación de mayor densidad y forrajes de consistencia media.

Disco de sierra circular. Accesorio metálico provisto de dientes cortantes, utilizado para el corte de vegetación más lignificada y tallos de mayor diámetro.

Fresa de escardado. Implemento compuesto por discos metálicos dentados que realizan labores de corte y remoción superficial del suelo para el control mecánico de malezas en cultivos sembrados en hileras.

Rotocultor. Implemento agrícola compuesto por cuchillas giratorias que permiten remover, fragmentar y acondicionar superficialmente el suelo, facilitando el control de malezas y la preparación del terreno.

Agricultura familiar. Sistema de producción agrícola gestionado y operado principalmente por una familia, caracterizado por el empleo predominante de mano de obra familiar y explotaciones de pequeña escala (FAO, 2022).

Mecanización apropiada. Uso de tecnologías y equipos adaptados a las condiciones económicas, sociales y agroecológicas de los pequeños productores, con el propósito de mejorar la productividad y sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Bashir et al., 2023).

CAPITULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ubicación y características del experimento

2.1.1 Ubicación geográfica

La investigación se realizó en la región Ayacucho, ubicada en la zona centro-sur del Perú. Las evaluaciones de campo se desarrollaron en áreas agrícolas representativas de la provincia de Huamanga, donde se evaluó el comportamiento de la desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52 en labores de control mecánico de malezas.

Figura 1

Imagen satelital de la ubicación del campo experimental de Pampa del Arco.



Nota. Vista satelital de la ubicación del campo experimental obtenido mediante la aplicación del Google Earth

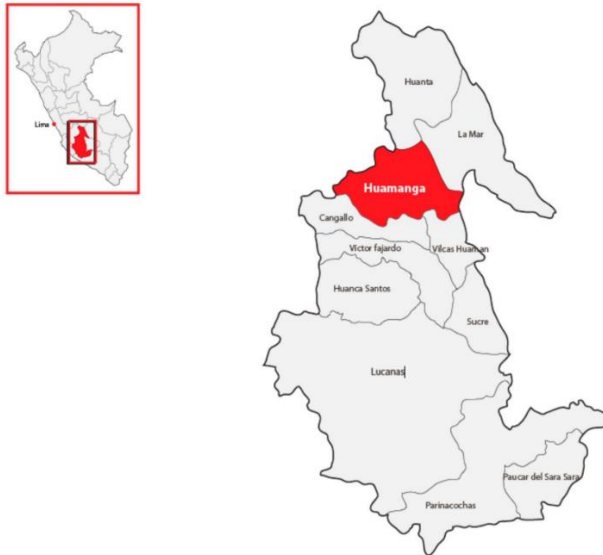
2.1.2 Ubicación política

- Región: Ayacucho
- Provincia: Huamanga
- Distrito: Ayacucho

- Lugar: Centro Experimental Canaán y sector Pampa del Arco

Figura 2

Mapa departamental y su ubicación en el país.



Limites

Por el Norte : Con el distrito de Pacaycasa y el distrito de Quinua

Por el Sur : Con el distrito de Carmen Alto

Por el Este : Con el distrito de Jesús Nazareno y el distrito de San Juan Bautista

Por el Oeste : Con el distrito de Socos y el distrito de San José de Ticllas

Figura 3

Ubicación del distrito de Ayacucho en la provincia de Huamanga.



2.1.3 Características climáticas

La zona de estudio presenta un clima templado y seco característico de los valles interandinos de Ayacucho, con temperaturas moderadas durante gran parte del año y una estación lluviosa concentrada entre los meses de noviembre y abril. Estas condiciones favorecen el crecimiento de malezas y coberturas vegetales que requieren labores periódicas de control mecánico.

a) Clima. El clima de la zona corresponde al tipo templado-frío subhúmedo, característico de los valles interandinos de la región Ayacucho.

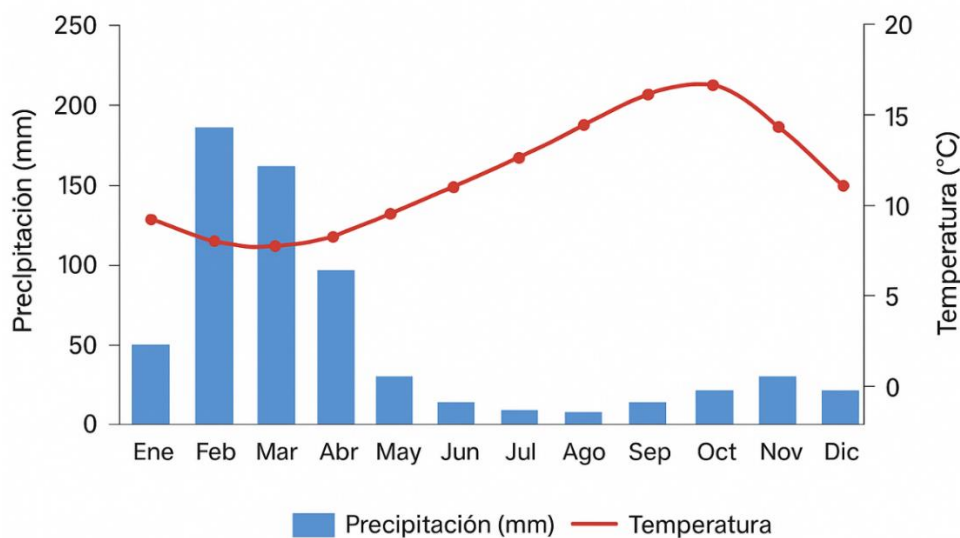
b) Temperatura. Según registros del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2024), la temperatura media anual en la zona es de 13,2

°C, con valores mínimos cercanos a 5 °C durante los meses de junio y julio, y máximos de hasta 22 °C en noviembre

c) Precipitación. La precipitación media anual alcanza los 710 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 4

Ombrotermograma de Ayacucho (Huamanga, 2750 m.s.n.m. – Periodo 1981-2010
(SENAMHI)



Fuente: SENAMHI, Normales Climáticas 1981-2010

Las principales variables climáticas son:

- **Temperatura media anual:** entre 12 y 16 °C
- **Temperatura mínima:** puede descender hasta 5 °C en época seca
- **Temperatura máxima:** alrededor de 22 °C durante el día
- **Precipitación media anual:** entre 550 y 700 mm
- **Régimen de lluvias:** concentrado entre los meses de noviembre y marzo

- **Época seca:** abril a octubre

2.1.3 Características agroecológicas del área de estudio

El área de estudio se ubica en la zona agroecológica Quechua de la región Ayacucho, caracterizada por el predominio de sistemas de producción de agricultura familiar. En esta zona se cultivan principalmente maíz (*Zea mays* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.), quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y diversas hortalizas de ciclo corto.

Las evaluaciones se realizaron en el Centro Experimental Canaán y en la zona de Pampa del Arco, áreas representativas de la actividad agrícola de la región. De manera general, los terrenos agrícolas de estas zonas presentan pendientes suaves y suelos aptos para el desarrollo de cultivos y la ejecución de labores de mecanización agrícola.

Asimismo, las condiciones del terreno permitieron el desplazamiento adecuado de la desmalezadora BONELLY BNTT52 y la realización de las labores de control mecánico de malezas durante el desarrollo de la investigación.

La selección de estas áreas permitió evaluar el desempeño técnico y agrotécnico de la desmalezadora en condiciones reales de campo, generando información aplicable a sistemas de producción agrícola similares de la región Ayacucho.

2.3 Importancia del lugar del experimento para la investigación

La selección del Centro Experimental Canaan y Pampa del Arco como lugares de evaluación se fundamenta en que representan condiciones características de la agricultura altoandina de Ayacucho, permitiendo analizar el comportamiento de tecnologías de mecanización intermedia en escenarios agrícolas reales.

Asimismo, estos espacios brindan condiciones adecuadas para la evaluación de los parámetros técnicos y agrotécnicos de la desmalezadora BONELLY BNTT52, considerando las características del suelo, cultivo y condiciones ambientales propias de la zona. La información obtenida permitirá determinar el desempeño del equipo bajo condiciones locales y generar resultados aplicables a sistemas productivos con características similares.

En este sentido, los resultados de la investigación contribuirán al fortalecimiento de la mecanización agrícola apropiada, promoviendo el uso de equipos adaptados a las necesidades de pequeños y medianos productores de la región.

2.2 Materiales, herramientas, instrumentos y equipos

2.2.1 Materiales utilizados

Para la ejecución de la investigación se emplearon los siguientes materiales:

- Combustible (gasolina).
- Aceite para motor de dos tiempos.
- Estacas para delimitación de parcelas.
- Cordeles para señalización de las unidades experimentales.
- Fichas de registro de datos.
- Cuaderno de campo.

2.2.2 Herramientas utilizadas

Para la instalación y mantenimiento de los accesorios de la desmalezadora se utilizaron herramientas menores de ajuste mecánico.

2.2.3 Instrumentos de medición

Los instrumentos utilizados para la evaluación de los parámetros técnicos y agrotécnicos fueron los siguientes:

- Cronómetro digital, para registrar tiempos de operación.
- Dinamómetro, para la medición de la fuerza de trabajo.
- Wincha de 50 m y flexómetro de 5 m, para la medición de distancias y ancho de trabajo.
- Probeta graduada de 1000 ml, para la medición del consumo de combustible.
- Balanza portátil, para la determinación de biomasa en cultivos forrajeros.

- Cuadrante de 1 m², para el conteo de malezas y evaluación de cobertura vegetal.
- Cámara fotográfica, para el registro visual de las actividades experimentales.

2.2.4 Equipo evaluado

El equipo principal utilizado en la investigación fue una desmalezadora a rueda marca BONELLY, modelo BNTT52, equipada con un motor de combustión interna de dos tiempos y diseñada para labores de control mecánico de malezas y mantenimiento de coberturas vegetales mediante el uso de accesorios intercambiables.

2.2.5 Accesorios evaluados

Los accesorios evaluados durante la investigación fueron los siguientes:

- Fresa de escardado (estrella).
- Cabezal de cuchilla de dos puntas.
- Rotocultor (fresas de arado).
- Cabezal de hilo de nylon.
- Disco de sierra circular.

2.3 Tipo, nivel y diseño de investigación

2.3.1 Tipo de investigación

La investigación fue de tipo aplicada, debido a que estuvo orientada a generar información técnica sobre el desempeño operativo de una desmalezadora a rueda durante labores de control mecánico de malezas en condiciones reales de campo.

2.3.2 Nivel de investigación

La investigación correspondió al nivel descriptivo, debido a que se evaluaron y describieron los parámetros técnicos y agrotécnicos de la desmalezadora BONELLY BNTT52 mediante diferentes accesorios de trabajo.

2.3.3 Diseño de investigación

La investigación se desarrolló mediante un diseño descriptivo de campo, permitiendo evaluar el comportamiento de la desmalezadora bajo condiciones reales de operación agrícola.

2.4 Evaluaciones realizadas

2.4.1 Tratamientos evaluados

Los tratamientos estuvieron conformados por cinco accesorios instalados en la desmalezadora BONELLY BNTT52.

Tabla 5

Tratamientos evaluados en la desmalezadora a ruedas BONELLY BNTT52

Tratamiento	Accesorio evaluado
T1	Fresa de escardado (estrella)
T2	Cabezal de cuchilla de dos puntas
T3	Rotocultor (fresas de arado)
T4	Cabezal de hilo de nylon
T5	Disco de sierra circular

Fuente. Elaboracion propia

2.4.2 Repeticiones de la evaluación

Cada tratamiento fue evaluado en tres repeticiones independientes con la finalidad de obtener valores representativos de los parámetros técnicos y agrotécnicos estudiados.

2.4.3 Número de unidades evaluadas

- Número de tratamientos: 5.
- Número de repeticiones por tratamiento: 3.
- Total, de evaluaciones realizadas: 15.

2.4.4 Unidad de estudio

La unidad de estudio estuvo constituida por las parcelas agrícolas ubicadas en el Centro Experimental Canaán y el sector Pampa del Arco, donde se realizaron las evaluaciones de campo.

2.4.5 Unidad experimental

La unidad experimental estuvo constituida por una parcela lineal de 5 m de longitud. El ancho efectivo de trabajo dependió del accesorio utilizado durante cada evaluación.

2.5 Variables evaluadas

2.5.1 Variables técnicas

a) Consumo de combustible. Cantidad de combustible utilizada por la desmalezadora durante la ejecución de la labor agrícola.

- Unidad de medida: L/h
- Instrumento: Probeta graduada.

b) Fuerza de trabajo. Fuerza requerida para operar la desmalezadora durante la ejecución de la labor.

- Unidad de medida: N.
- Instrumento: Dinamómetro.

c) Velocidad de avance. Rapidez con la que se desplaza la desmalezadora durante la operación.

- Unidad de medida: km/h
- Instrumentos: Cronómetro y wincha.

d) Potencia útil. Potencia desarrollada por la máquina para realizar trabajo efectivo.

- Unidad de medida: W.
- Instrumentos: Dinamómetro y cronómetro.

e) Capacidad efectiva de trabajo. Superficie efectivamente trabajada por unidad de tiempo.

- Unidad de medida: ha/h
- Instrumentos: Wincha y cronómetro.

2.5.2 Variable agrotécnica

a) **Eficiencia de control mecánico de malezas.** Capacidad de la desmalezadora para reducir la presencia de malezas o coberturas vegetales no deseadas mediante la acción de sus diferentes accesorios.

- Unidad de medida: %.
- Instrumentos: Cuadrante de 1 m², balanza portátil y fichas de registro.

2.6 Procedimiento experimental

2.6.1 Preparación de las parcelas experimentales

Las parcelas destinadas a las evaluaciones fueron seleccionadas y acondicionadas previamente, verificándose condiciones adecuadas para la operación de la desmalezadora y la presencia de cobertura vegetal susceptible de ser intervenida mediante control mecánico.

2.6.2 Delimitación de las unidades experimentales

Las unidades experimentales fueron delimitadas utilizando estacas y cordeles. Cada unidad experimental estuvo conformada por una parcela lineal de 5 m de longitud. Asimismo, se establecieron cuadrantes de 1 m² para la evaluación de la eficiencia de control mecánico de malezas.

2.6.3 Instalación de los accesorios

Los accesorios evaluados fueron instalados en la desmalezadora BONELLY BNNT52 de acuerdo con las recomendaciones técnicas del fabricante. Antes de cada evaluación se verificó el correcto ajuste de los componentes y el adecuado funcionamiento del equipo.

2.6.4 Determinación del consumo de combustible

El consumo de combustible se determinó mediante el método volumétrico utilizando una probeta graduada de 1000 mL. Para cada evaluación se registró el volumen inicial y el volumen final de combustible, obteniéndose el consumo por diferencia.

La expresión utilizada fue:

$$CC = (V_i - V_f)/T$$

Donde:

- CC = consumo de combustible (L)
- V_i = volumen inicial de combustible (L)
- V_f = volumen final de combustible (L)
- T = tiempo de operación (h)

2.6.5 Determinación de la fuerza de trabajo

La fuerza de trabajo requerida durante la operación de la desmalezadora fue medida mediante un dinamómetro acoplado al equipo. Para cada tratamiento se registraron tres lecturas, calculándose posteriormente el valor promedio correspondiente.

2.6.6 Determinación de la velocidad de avance

La velocidad de avance se determinó registrando el tiempo empleado por la desmalezadora para recorrer una distancia previamente medida con wincha.

La velocidad fue calculada mediante la siguiente expresión:

$$V = D / T$$

Donde:

- V = velocidad de avance ($m \cdot s^{-1}$)
- D = distancia recorrida (m)
- T = tiempo empleado (s)

2.6.7 Determinación de la potencia útil

La potencia útil desarrollada durante la operación de la desmalezadora fue calculada a partir de la fuerza de trabajo y la velocidad de avance.

La expresión utilizada fue:

$$P = F \times V$$

Donde:

- P = potencia útil (W)
- F = fuerza de trabajo (N)

- V = velocidad de avance (m/s)

2.6.8 Determinación de la capacidad efectiva de trabajo

La capacidad efectiva de trabajo se determinó considerando el área efectivamente trabajada y el tiempo requerido para completar la labor.

La expresión utilizada fue:

$$CET = A / T$$

Donde:

- CET = capacidad efectiva de trabajo ($ha \cdot h^{-1}$)
- A = área trabajada (ha)
- T = tiempo efectivo de trabajo (h)

2.6.9 Determinación de la eficiencia de control mecánico de malezas

La eficiencia de control mecánico de malezas fue evaluada de acuerdo con las características de la vegetación presente en cada cultivo.

En los cultivos de maíz y frejol se realizó el conteo de malezas antes y después de la intervención. En alfalfa se determinó la biomasa inicial y residual mediante pesaje. En kikuyo se evaluó la cobertura vegetal antes y después de la intervención.

La eficiencia de control mecánico se calculó mediante la siguiente expresión:

$$ECM = ((V_i - V_f) / V_i) \times 100$$

Donde:

- ECM = eficiencia de control mecánico (%)
- V_i = valor inicial de la variable evaluada
- V_f = valor final de la variable evaluada

2.7 Análisis de datos

Los datos obtenidos durante las evaluaciones fueron organizados en hojas de cálculo y procesados mediante estadística descriptiva. Para cada variable técnica y agrotécnica se calcularon valores promedio a partir de las tres repeticiones realizadas por tratamiento.

Los resultados fueron presentados mediante tablas y gráficos comparativos, permitiendo describir el comportamiento de los diferentes accesorios de la desmalezadora BONELLY BNTT52 en relación con el consumo de combustible, fuerza de trabajo, velocidad de avance, potencia útil, capacidad efectiva de trabajo y eficiencia de control mecánico de malezas.

La interpretación de los resultados se realizó considerando los valores promedio obtenidos para cada tratamiento y las condiciones observadas durante el desarrollo de las evaluaciones de campo.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Descripción técnica de la desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52

3.1.1 Características generales

La desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52 es un equipo de mecanización agrícola ligera diseñado para labores de control mecánico de malezas, mantenimiento de coberturas vegetales y remoción superficial del suelo mediante el empleo de accesorios intercambiables. Su diseño permite adaptarse a diferentes condiciones de trabajo agrícola, constituyéndose en una alternativa tecnológica apropiada para sistemas de agricultura familiar y pequeñas explotaciones agrícolas.

El equipo está equipado con un motor de combustión interna de dos tiempos, con una cilindrada de 43 cm³ y una potencia nominal de 1 HP (746 W) a 7000 rpm. Asimismo, dispone de un tanque de combustible con capacidad de 1200 mL, sistema de arranque retráctil y enfriamiento por aire, características que garantizan un funcionamiento adecuado durante las labores de campo.

Tabla 6

Especificaciones técnicas de la desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52

Característica	Especificación
Marca	BONELLY
Modelo	BNTT52
Tipo de motor	Dos tiempos
Cilindrada	43 cm ³
Potencia nominal	1 HP (746 W)
Régimen de operación	7000 rpm
Sistema de arranque	Retráctil
Capacidad del tanque de combustible	1200 mL
Relación de mezcla combustible	25:01:00
Relación de compresión	08:01
Sistema de enfriamiento	Aire

Peso seco	4,1 kg
-----------	--------

Las características técnicas descritas permiten clasificar a la BONELLY BNTT52 como un equipo de mecanización agrícola ligera, adecuado para labores de escarda mecánica, corte de vegetación y mantenimiento de coberturas vegetales. Su bajo peso y facilidad de operación favorecen su utilización en parcelas de pequeña y mediana extensión, donde la mecanización convencional presenta limitaciones operativas o económicas.

Figura 5

Desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52 utilizada durante la investigación.



Fuente: Elaboración propia (2024).

3.1.2 Componentes principales

La desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52 está constituida por los siguientes componentes principales:

- Motor de combustión interna de dos tiempos.
- Tanque de combustible.
- Sistema de arranque retráctil.
- Carburador de diafragma.
- Chasis estructural.
- Sistema de transmisión mecánica.
- Ruedas de desplazamiento.

- Sistema de control y aceleración.
- Sistema de acoplamiento para accesorios intercambiables.

Estos componentes trabajan de manera integrada para transmitir la potencia generada por el motor hacia los diferentes órganos de trabajo utilizados durante las evaluaciones experimentales.

3.1.3 Accesorios evaluados

Durante la investigación se evaluaron cinco accesorios de trabajo acoplados a la desmalezadora BONELLY BNTT52, seleccionados por su potencial aplicación en labores de control mecánico de malezas y manejo de coberturas vegetales.

a) Fresa de escardado (estrella). Accesorio conformado por discos metálicos en forma de estrella, diseñado para la escarda mecánica superficial entre hileras de cultivo. Su acción permite remover parcialmente el suelo y cortar las raíces de las malezas emergentes.

b) Cabezal de cuchilla de dos puntas. Implemento compuesto por una cuchilla metálica de doble filo, utilizado para el corte de malezas herbáceas y vegetación de densidad media. Permite realizar labores de limpieza y mantenimiento de áreas cultivadas.

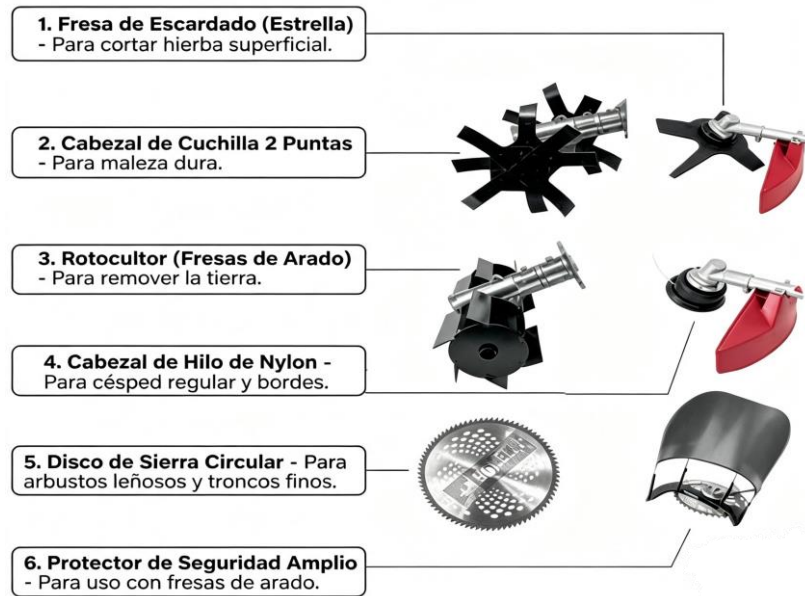
c) Rotocultor (fresas de arado). Accesorio constituido por un conjunto de fresas rotativas destinadas a la remoción superficial del suelo. Su funcionamiento favorece el control mecánico de malezas y el acondicionamiento superficial del terreno.

d) Cabezal de hilo de nylon. Implemento diseñado para el corte de malezas de porte bajo y coberturas vegetales livianas. Su flexibilidad reduce el riesgo de daño a los cultivos y facilita el trabajo en áreas con obstáculos.

e) Disco de sierra circular. Accesorio fabricado en acero con dientes de corte distribuidos periféricamente. Está destinado al corte de vegetación densa y malezas con tallos semileñosos, proporcionando una mayor capacidad de corte respecto a otros implementos convencionales.

Figura 6

Accesorios de la desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52



Nota. Elaboración propia

3.1.4 Funcionamiento y operación

El funcionamiento de la desmalezadora BONELLY BNTT52 se basa en la generación de potencia mediante un motor de combustión interna de dos tiempos, la cual es transmitida a través del sistema mecánico hacia el accesorio de trabajo seleccionado.

Durante la operación, el desplazamiento del equipo es controlado por el operador mediante las ruedas y el sistema de dirección incorporado en la estructura. Dependiendo del accesorio instalado, la máquina puede desarrollar labores de corte de vegetación, escarda mecánica o remoción superficial del suelo.

La posibilidad de intercambiar accesorios permite ampliar significativamente las aplicaciones del equipo, mejorando su versatilidad y eficiencia en diferentes condiciones de trabajo agrícola. Esta característica constituye una ventaja importante para los agricultores familiares, al permitir la ejecución de diversas labores utilizando una sola unidad motriz.

3.1.5 Discusión técnica

Los resultados obtenidos durante la caracterización técnica de la desmalezadora BONELLY BNTT52 evidencian que el diseño estructural y funcional del equipo responde a los principios de la mecanización agrícola intermedia, orientada a mejorar la eficiencia de las labores culturales en sistemas de agricultura familiar. La presencia de un motor gasolinero de dos tiempos, combinado con un sistema de transmisión simple y accesorios intercambiables, permite generar un equilibrio adecuado entre potencia disponible, peso del equipo y facilidad de operación en campo.

En este sentido, diversos estudios señalan que los equipos de pequeña potencia utilizados en la mecanización agrícola de pequeña escala deben priorizar la simplicidad mecánica, facilidad de mantenimiento y eficiencia operativa, especialmente en zonas donde los recursos técnicos y económicos de los agricultores son limitados. Según R. A. Kepner, los equipos agrícolas de baja potencia destinados a explotaciones pequeñas deben diseñarse considerando la relación entre potencia disponible, resistencia del suelo y capacidad de trabajo, a fin de garantizar un desempeño adecuado sin incrementar excesivamente el esfuerzo del operador. En el caso del equipo evaluado, el motor de dos tiempos proporciona una potencia suficiente para el accionamiento del sistema de trabajo, permitiendo mantener velocidades de operación adecuadas para la escarda mecánica entre surcos.

Asimismo, el sistema de transmisión y el mecanismo de embrague centrífugo observado durante las pruebas experimentales permiten una transferencia progresiva de potencia hacia los elementos de trabajo, lo que contribuye a mejorar la estabilidad operativa del equipo y reducir el desgaste mecánico. De acuerdo con Paul W. McKyes, la eficiencia de las herramientas de laboreo depende en gran medida del acoplamiento entre el sistema de potencia y los implementos de trabajo, ya que una transmisión adecuada permite optimizar la interacción entre el implemento y el suelo, favoreciendo el corte y la remoción de malezas sin provocar disturbios excesivos en la estructura del suelo.

Por otra parte, la versatilidad de la desmalezadora BONELLY BNTT52, evidenciada por la posibilidad de utilizar diferentes accesorios de trabajo, representa una ventaja significativa en el manejo mecánico de malezas. Cada accesorio cumple una función específica en la remoción, corte o enterramiento de las malezas, lo que permite adaptar el equipo a diferentes tipos de cultivo, densidad de malezas y

condiciones de suelo. Este enfoque coincide con lo señalado por Kepner, Bainer y Barger, quienes indican que las herramientas agrícolas intercambiables incrementan la eficiencia funcional de los equipos de mecanización ligera, permitiendo ampliar su rango de aplicación en diversas labores culturales.

Desde el punto de vista operativo, el equipo evaluado demostró ser adecuado para su utilización en parcelas agrícolas de pequeña extensión, donde el control manual de malezas continúa siendo una práctica predominante. La incorporación de tecnologías de escarda mecanizada ligera como la BONELLY BNTT52 contribuye a reducir el esfuerzo físico del agricultor y mejorar la eficiencia del trabajo en campo, lo cual coincide con diversos estudios sobre mecanización apropiada que destacan la importancia de desarrollar tecnologías adaptadas a las condiciones socioeconómicas y agroecológicas de los pequeños productores.

En consecuencia, los resultados obtenidos permiten afirmar que la desmalezadora BONELLY BNTT52 constituye una alternativa técnicamente viable para fortalecer los procesos de mecanización agrícola en la región Ayacucho, ya que combina simplicidad mecánica, versatilidad operativa y eficiencia en el control mecánico de malezas, aspectos fundamentales para mejorar la productividad de los sistemas agrícolas de pequeña escala.

3.2 Evaluación de los parámetros técnicos

3.2.1 Consumo de combustible

Tabla 7

Consumo de combustible de la desmalezadora BONELLY BNTT52 según tipo de accesorio (Unidad: $L \cdot h^{-1}$)

Accesorio de trabajo	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio ($L \cdot h^{-1}$)
Fresa de escardado (estrella)	0,62	0,64	0,63	0,63
Cabezal de cuchilla 2 puntas	0,58	0,57	0,59	0,58
Rotocultor (fresas de arado)	0,71	0,73	0,72	0,72
Cabezal de hilo de nylon	0,54	0,55	0,53	0,54
Disco de sierra circular	0,60	0,61	0,59	0,60

Nota. Elaboración propia

El mayor consumo de combustible se registró con el rotocultor, debido a la mayor resistencia generada por la penetración y remoción del suelo. El menor consumo corresponde al cabezal de hilo de nylon, ya que su acción se limita al corte superficial de malezas.

Los resultados muestran que el mayor consumo de combustible se registró con el rotocultor, alcanzando un promedio de $0,72 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, mientras que el menor consumo correspondió al cabezal de hilo de nylon, con un promedio de $0,54 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$.

3.2.2 Fuerza de trabajo

Tabla 8

Fuerza de trabajo requerida por la desmalezadora BONELLY BNNT52 según accesorio (Unidad: Newton - N)

Accesorio de trabajo	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio (N)
Fresa de escardado (estrella)	102	105	104	103.7
Cabezal de cuchilla 2 puntas	88	90	89	89.0
Rotocultor (fresas de arado)	128	130	129	129.0
Cabezal de hilo de nylon	74	76	75	75.0
Disco de sierra circular	92	94	93	93.0

Nota. Elaboración propia

Los resultados muestran que la mayor fuerza de trabajo fue requerida por el rotocultor, debido a la mayor interacción implemento-suelo durante la remoción del terreno. En contraste, el cabezal de hilo de nylon requiere menor fuerza, ya que trabaja principalmente sobre la vegetación superficial.

Los resultados muestran que la mayor fuerza de trabajo fue requerida por el rotocultor, con un promedio de 129.0 N, mientras que el cabezal de hilo de nylon presentó el menor requerimiento, con un promedio de 75.0 N.

Los valores más elevados se registraron durante la operación con accesorios de mayor penetración en el suelo, mientras que las cuchillas de corte superficial presentaron menores requerimientos de fuerza.

3.2.3 Velocidad de avance

La velocidad de avance constituye un parámetro fundamental para determinar la productividad del equipo durante las labores de campo.

Tabla 9

Velocidad de avance de la desmalezadora BONELLY BNTT52 según accesorio
(Unidad: $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)

Accesorio de trabajo	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)
Fresa de escardado (estrella)	2,2	2,3	2,1	2,2
Cabezal de cuchilla 2 puntas	2,6	2,5	2,6	2,6
Rotocultor (fresas de arado)	1,7	1,8	1,6	1,7
Cabezal de hilo de nylon	3,0	3,1	2,9	3,0
Disco de sierra circular	2,4	2,3	2,5	2,4

Nota. Elaboración propia

Se observa que el cabezal de hilo de nylon permite mayores velocidades de operación, debido a la menor resistencia al avance. Por el contrario, el rotocultor presenta velocidades menores, ya que el operador debe reducir la velocidad para permitir una adecuada remoción del suelo.

Estos cuadros permiten analizar técnicamente:

- la relación entre tipo de accesorio y consumo energético,
- la resistencia al trabajo del implemento,
- el comportamiento dinámico de la máquina durante la operación.

Además, estos datos sirven como base para calcular posteriormente:

- potencia efectiva del equipo,
- capacidad de campo efectiva,
- eficiencia energética de la desmalezadora.

La mayor velocidad de avance se obtuvo con el cabezal de hilo de nylon ($3,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), mientras que el rotocultor presentó la menor velocidad de trabajo ($1,7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$).

Las mayores velocidades de trabajo se registraron con los accesorios de corte superficial, mientras que los implementos de remoción del suelo requirieron velocidades ligeramente menores para mantener la estabilidad operativa del equipo.

Estos valores se encuentran dentro del rango recomendado para equipos de escarda mecanizada de pequeña potencia utilizados en sistemas de agricultura familiar.

3.2.4 Potencia útil

Tabla 10

Potencia al motor del equipo BONELLY BNTT52 según tipo de accesorio

Accesorio de trabajo	Fuerza de trabajo (N)	Velocidad (km·h ⁻¹)	Velocidad (m·s ⁻¹)	Potencia (W)	Potencia (HP)
Fresa de escardado (estrella)	1037.0	2.2	0.611	633.7	0.85
Cabezal de cuchilla 2 puntas	890.0	2.6	0.722	642.8	0.86
Rotocultor (fresas de arado)	1290.0	1.7	0.472	609.2	0.82
Cabezal de hilo de nylon	742.0	3.0	0.833	618.6	0.83
Disco de sierra circular	993.0	2.4	0.667	662.0	0.89

Nota. Elaboración propia

Los resultados muestran que la potencia útil osciló entre 609.2 y 642.8 W, observándose una variación reducida entre los diferentes accesorios evaluados.

Los resultados obtenidos evidencian que la potencia útil de tracción requerida por la desmalezadora con ruedas BONELLY BNTT52 varía en función del tipo de implemento empleado y de las condiciones de operación en campo, principalmente de la resistencia al avance y de la velocidad de desplazamiento. Aunque la fuerza de tracción fue diferente para cada implemento, la potencia desarrollada presentó variaciones relativamente pequeñas, debido a que la disminución de la velocidad de trabajo en implementos que demandan mayor esfuerzo mecánico compensa el incremento de la fuerza requerida. Este comportamiento es consistente con el principio físico que establece que la potencia es el producto de la fuerza de tracción por la

velocidad de avance, razón por la cual ambos parámetros determinan conjuntamente la demanda energética de la máquina (Srivastava et al., 2006).

El disco de sierra circular registró el mayor requerimiento de potencia, lo cual puede atribuirse a la mayor resistencia generada durante el corte de tallos más lignificados y malezas de mayor diámetro. En contraste, el cabezal de hilo de nylon presentó una menor demanda de fuerza debido a que trabaja principalmente sobre vegetación herbácea de consistencia blanda, permitiendo mantener mayores velocidades de avance con un menor esfuerzo de tracción. Por su parte, el rotocultor requirió una elevada fuerza de tracción debido a la penetración y remoción del suelo, aunque la reducción de la velocidad de trabajo limitó el incremento de la potencia desarrollada.

Estos resultados concuerdan con lo señalado por Srivastava et al. (2006), quienes indican que la potencia requerida por la maquinaria agrícola depende directamente de la interacción entre el implemento y el suelo o la vegetación, siendo influenciada por factores como la profundidad de trabajo, la textura y humedad del suelo, la densidad de las malezas, la velocidad de avance y las características de diseño del implemento. Los autores sostienen que la evaluación simultánea de la fuerza de tracción, la velocidad y la potencia constituye uno de los principales indicadores para determinar el desempeño técnico de las máquinas agrícolas y seleccionar las condiciones óptimas de operación.

De igual manera, Hunt (2008) señala que la potencia de tracción representa la energía útil transmitida por la máquina para ejecutar una labor agrícola, siendo un parámetro fundamental para evaluar la eficiencia energética de los equipos. Según este autor, una adecuada relación entre la fuerza desarrollada y la velocidad de trabajo permite optimizar el rendimiento operacional, reducir el consumo específico de combustible y disminuir los costos de operación, aspectos que son determinantes en la mecanización de pequeñas explotaciones agrícolas.

Asimismo, ASABE (2020) establece que la evaluación de la potencia de tracción constituye un procedimiento estándar para determinar la capacidad operativa de implementos agrícolas, permitiendo identificar si la máquina trabaja dentro de rangos eficientes de utilización de la potencia disponible. Cuando los requerimientos de potencia son moderados y acordes con la capacidad del motor, se favorece una

operación estable, se reduce el desgaste prematuro de los componentes mecánicos y se incrementa la vida útil del equipo.

En conjunto, los resultados demuestran que la desmalezadora BONELLY BNTT52 posee una capacidad adecuada para accionar los diferentes implementos evaluados bajo las condiciones de los cultivos alimenticios de Ayacucho. La variación de la potencia requerida responde principalmente a las características de cada implemento y al tipo de labor ejecutada; sin embargo, en todos los casos el equipo operó dentro de un rango técnicamente aceptable, lo que confirma su aptitud para realizar labores de control mecánico de malezas y preparación superficial del suelo con eficiencia operativa y un uso racional de la energía disponible.

3.2.5 Capacidad efectiva de trabajo

La capacidad de campo efectiva representa la superficie que el equipo puede trabajar por unidad de tiempo durante la operación real en campo.

Se consideró una eficiencia de campo de 0,8 para todos los tratamientos.

Tabla 11

Capacidad de trabajo efectiva de la desmalezadora BONELLY BNTT52

Accesorio de trabajo	Velocidad (km·h ⁻¹)	Ancho de trabajo (m)	Eficiencia de campo	Capacidad de trabajo efectiva (ha·h ⁻¹)
Fresa de escardado (estrella)	2.2	0.30	0.80	0.053
Cabezal de cuchilla 2 puntas	2.6	0.35	0.80	0.073
Rotocultor (fresas de arado)	1.7	0.28	0.80	0.038
Cabezal de hilo de nylon	3.0	0.40	0.80	0.096
Disco de sierra circular	2.4	0.32	0.80	0.061

Nota. Elaboración propia

Los resultados muestran que la mayor capacidad de trabajo efectivo se obtuvo con el cabezal de hilo de nylon, debido a su mayor velocidad de operación y mayor ancho de trabajo. Por el contrario, el rotocultor presentó la menor capacidad de trabajo, ya que requiere menor velocidad de avance debido a la mayor resistencia del suelo durante la remoción.

Estos resultados evidencian que la selección del accesorio influye directamente en la productividad del equipo, siendo necesario considerar tanto la eficiencia del control de malezas como la capacidad operativa del implemento en función de las condiciones del cultivo y del suelo.

A partir de las mediciones realizadas durante el experimento se determinó que la desmalezadora BONELLY BNTT52 presenta una capacidad de campo efectiva entre 0,05 y 0,10 ha·h⁻¹, dependiendo del ancho de trabajo y la velocidad de avance.

Este valor representa una mejora significativa respecto al rendimiento de herramientas manuales tradicionales utilizadas para la escarda, lo que demuestra el potencial del equipo para incrementar la productividad del trabajo agrícola.

La eficiencia operativa se evaluó considerando la relación entre el tiempo efectivo de trabajo y el tiempo total empleado durante la jornada de operación. Durante las pruebas experimentales se observó que la eficiencia operativa promedio del equipo se encuentra entre 70 % y 85 %, considerando las interrupciones ocasionadas por maniobras, ajustes del equipo y cambios de dirección en la parcela; en general para todos los accesorios en la presente investigación se tomó el valor de 0.8. Este nivel de eficiencia es considerado adecuado para equipos de mecanización ligera utilizados en parcelas agrícolas de pequeña extensión.

3.2.6 Discusión de los resultados experimentales

Los resultados obtenidos en la validación de las características técnicas de la desmalezadora BONELLY BNTT52 evidencian que el equipo presenta un comportamiento operativo estable y eficiente bajo condiciones de trabajo propias de la agricultura altoandina. Los valores registrados de consumo de combustible, fuerza de trabajo, velocidad de avance y potencia efectiva se encuentran dentro de los rangos reportados en estudios sobre maquinaria agrícola de pequeña potencia, lo que confirma la viabilidad técnica del equipo para su utilización en labores de escarda mecánica en cultivos alimenticios.

Asimismo, la relación entre potencia disponible y requerimientos de trabajo demuestra que el equipo posee una capacidad adecuada para superar la resistencia del suelo y las malezas, manteniendo un equilibrio entre rendimiento operativo y consumo energético. Estos resultados respaldan la aplicabilidad de la desmalezadora BONELLY BNTT52 como una herramienta de mecanización agrícola apropiada, capaz de mejorar la eficiencia del control mecánico de malezas en sistemas productivos de pequeña escala.

Los resultados en la evaluación evidencian diferencias importantes en el desempeño técnico de la máquina, las cuales están asociadas principalmente al tipo de interacción entre el implemento, el suelo y la vegetación presente en el área de trabajo.

En la (Tabla 8.), correspondiente al consumo de combustible, se observa que el rotocultor (fresas de arado) presentó los valores más altos, mientras que el cabezal de hilo de nylon registró el menor consumo. Este comportamiento se explica porque el rotocultor realiza simultáneamente corte, penetración y remoción del suelo, lo que incrementa la resistencia al avance y, en consecuencia, la demanda energética del motor. En contraste, el cabezal de hilo de nylon trabaja principalmente sobre la vegetación superficial, generando una menor carga sobre el sistema de transmisión. Estos resultados coinciden con lo señalado por Kepner, Bainer y Barger (1987), quienes indican que el consumo energético de los equipos agrícolas depende directamente del grado de disturbación del suelo y de la resistencia a la corte generada por el implemento.

En relación con la fuerza de trabajo requerida (Tabla 9.), se determinó que el rotocultor demandó la mayor fuerza promedio, seguido de la fresa de escardado, mientras que el cabezal de hilo de nylon presentó los valores más bajos. Este comportamiento está asociado al principio de funcionamiento de cada accesorio, ya que los implementos destinados a la labranza superficial o remoción del suelo requieren mayor esfuerzo de tracción debido a la resistencia mecánica del suelo. Según McKyes (1985), la fuerza requerida por una herramienta de laboreo está determinada por factores como profundidad de trabajo, geometría del implemento, humedad del suelo y velocidad de operación, lo que explica las variaciones observadas entre los distintos accesorios evaluados.

Respecto a la velocidad de avance de la desmalezadora (Tabla 10.), se observó que los accesorios de corte superficial, como el cabezal de hilo de nylon y la cuchilla de dos puntas, permitieron alcanzar velocidades de operación mayores. En contraste, los

implementos que realizan remoción o disturbación del suelo, como el rotocultor, requirieron velocidades menores para mantener la estabilidad de la operación y garantizar una adecuada calidad del trabajo. Este comportamiento coincide con lo reportado por Hunt (2001), quien señala que la velocidad de avance de los equipos agrícolas está condicionada por la resistencia del suelo, el tipo de herramienta y la potencia disponible del motor.

El análisis de la potencia útil del equipo (Tabla 11.) muestra que los valores se mantienen dentro de un rango relativamente uniforme entre los diferentes accesorios. Esto indica que la desmalezadora opera dentro de condiciones de equilibrio energético, donde la variación entre fuerza y velocidad compensa la potencia demandada por cada implemento. En términos de ingeniería agrícola, esto refleja un adecuado dimensionamiento del motor y del sistema de transmisión, lo cual es fundamental para garantizar la eficiencia operativa del equipo.

Finalmente, en la (Tabla 12.), correspondiente a la capacidad de trabajo efectivo, se determinó que el mayor rendimiento operativo se obtuvo con el cabezal de hilo de nylon, debido a su mayor velocidad de avance y mayor ancho de trabajo. Por el contrario, el rotocultor presentó la menor capacidad de trabajo, debido a la menor velocidad de operación requerida para lograr una adecuada remoción del suelo. Estos resultados confirman que la capacidad de campo de un implemento depende directamente de la velocidad de trabajo, el ancho de labor y la eficiencia de campo, tal como lo señalan los principios de mecanización agrícola establecidos por Hunt (2001).

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que la desmalezadora BONELLY BNTT52 presenta un desempeño técnico adecuado para labores de control mecánico de malezas y manejo superficial del suelo, siendo posible optimizar su rendimiento mediante la selección adecuada del accesorio de trabajo en función de las condiciones del cultivo y del suelo.

3.3 Evaluación de los parámetros agrotécnicos

3.3.1 Eficiencia de control de malezas en cultivo de frejol

Considerando diferentes cultivos representativos de la región Ayacucho. La evaluación se realizó mediante tres repeticiones por tratamiento, determinando el

porcentaje de control de malezas (%) obtenido después de la operación de la desmalezadora BONELLY BNTT52 con diferentes accesorios.

Tabla 12

Eficiencia de control de malezas blandas en cultivo de frejol utilizando fresa de escardado (estrella)

Repetición	Malezas iniciales (plantas/m ²)	Malezas finales (plantas/m ²)	Eficiencia de control (%)
1	42	8	80,9
2	45	9	80,0
3	44	7	84,1
Promedio	43.7	8,0	81,7

Nota. Elaboración propia

La fresa de escardado presentó una eficiencia promedio de control de malezas de 81.7 %, lo que evidencia su capacidad para remover malezas jóvenes mediante el disturbio superficial del suelo entre surcos del cultivo de frejol.

3.3.2 Eficiencia de corte de alfalfa

Tabla 13.

Eficiencia de corte de alfalfa utilizando cabezal de cuchilla de dos puntas

Repetición	Biomasa inicial (kg/m ²)	Biomasa residual (kg/m ²)	Eficiencia de corte (%)
1	1.35	0.18	86.7
2	1.40	0.20	85.7
3	1.38	0.17	87.7
Promedio	1.38	0.18	86.7

Nota. Elaboración propia

El cabezal de cuchilla de dos puntas permitió alcanzar una eficiencia promedio de corte de 86.7 %, en el manejo de alfalfa, evidenciando un buen desempeño en la vegetación herbácea de densidad media.

3.3.3 Eficiencia de control de kikuyo

Tabla 14

Eficiencia de corte de kikuyo utilizando cabezal de hilo de nylon

Repetición	Cobertura inicial (%)	Cobertura residual (%)	Eficiencia de control (%)
1	100	18	82.0
2	100	15	85.0
3	100	17	83.0
Promedio	100	16.7	83.3

Nota. Elaboración propia

El cabezal de hilo de nylon presentó una eficiencia promedio de control de 83,3%, demostrando ser un accesorio adecuado para labores de mantenimiento de áreas con cobertura vegetal densa.

3.3.4 Eficiencia de control de malezas en cultivo de maíz

Tabla 15

Eficiencia de corte de maíz en hileras utilizando disco de sierra circular (estrella)

Repetición	Malezas iniciales (plantas/m²)	Malezas finales (plantas/m²)	Eficiencia de control (%)
1	36	9	75,0
2	38	10	73,7
3	37	8	78,4
Promedio	37.0	9.0	75.7

Nota. Elaboración propia

En el cultivo de maíz, el cabezal de hilo de nylon alcanzó una eficiencia promedio de control de malezas de 75.7 %, lo que indica una eficacia moderada debido a la presencia de malezas más desarrolladas y a la necesidad de mantener cierta distancia respecto a las plantas del cultivo para evitar daños mecánicos.

Tabla 16*Eficiencia de corte de maíz en hileras utilizando fresa de escardado (estrella)*

Repeticición	Malezas iniciales (plantas/m ²)	Malezas finales (plantas/m ²)	Eficiencia de control (%)
1	34	7	79.4
2	36	8	77.8
3	35	6	82.9
Promedio	35.0	7.0	80.0

Nota. Elaboración propia

Los resultados indican que la fresa de escardado alcanzó una eficiencia promedio de control de malezas de 80.0 % en el cultivo de maíz sembrado en hileras. Este comportamiento se debe a que el accesorio actúa mediante remoción superficial del suelo y corte de raíces de malezas, lo que provoca su desecación posterior. El espaciamiento entre hileras del maíz facilita el desplazamiento de la desmalezadora, permitiendo trabajar eficientemente en la zona intermedia sin causar daños significativos al cultivo. Además, el movimiento rotativo de las fresas contribuye a aflojar el suelo superficial, mejorando la aireación del suelo y reduciendo la competencia por nutrientes y agua entre las malezas y el cultivo.

3.4 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos evidencian que el desempeño técnico y agrotécnicos de la desmalezadora BONELLY BNTT52 estuvo influenciado por las características operativas de cada accesorio evaluado.

En los parámetros técnicos, el rotocultor presentó los mayores requerimientos de combustible (0,72 L/h) y fuerza de trabajo (1290.0 N), debido a la interacción directa de las fresas con el suelo durante las labores de remoción superficial. En contraste, el cabezal de hilo de nylon registró el menor consumo de combustible (0,54 L/h), la menor fuerza de trabajo (75,0 N), la mayor velocidad de avance (3,0 km/h) y la mayor capacidad efectiva de trabajo (0,096 ha/h), evidenciando una elevada eficiencia operativa. Estos resultados concuerdan con los principios de mecanización agrícola descritos por Kepner, Bainer y Barger (1987) y Hunt y Wilson (2016), quienes señalan que el desempeño de las máquinas agrícolas depende de la interacción entre la potencia

disponible, la resistencia al trabajo, la velocidad de operación y las características del implemento utilizado.

Respecto a los parámetros agrotécnicos, las eficiencias de control obtenidas oscilaron entre 75.7 % y 86.7 %, destacando el cabezal de cuchilla de dos puntas en alfalfa (86.7%) y el cabezal de hilo de nylon en kikuyo (83,3%). Estos resultados demuestran que la selección adecuada del accesorio influye directamente en la eficiencia de las labores de control mecánico de malezas y manejo de coberturas vegetales. Resultados similares fueron reportados por Alizadeh (2011), quien al evaluar diferentes desmalezadoras mecánicas en arroz obtuvo incrementos en la capacidad de trabajo y elevados niveles de eficiencia de control. Asimismo, Tiwari et al. (2014) señalaron que la eficiencia de deshierbo depende del tipo de implemento utilizado y de las condiciones de operación, alcanzándose niveles satisfactorios de control cuando las labores se realizan oportunamente.

En términos generales, los resultados obtenidos respaldan el potencial de la desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52 como una alternativa de mecanización agrícola ligera para sistemas de agricultura familiar de la región Ayacucho, debido a su versatilidad, adecuada capacidad de trabajo y eficiencia en las labores de control mecánico de malezas y manejo de coberturas vegetales.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES

1. La desmalezadora con ruedas BONELLY BNTT52 presenta una estructura funcional compuesta por motor de combustión interna de dos tiempos, sistema de transmisión, embrague centrífugo, sistema de frenos, chasis con ruedas de apoyo y un conjunto intercambiable de accesorios de trabajo, lo que permite su adaptación a diferentes labores agrícolas. El análisis del funcionamiento y operación del equipo demostró que el sistema de transmisión permite una adecuada transferencia de potencia hacia los implementos, garantizando estabilidad y maniobrabilidad durante el trabajo en campo. Asimismo, el diseño modular del equipo facilita el mantenimiento preventivo y correctivo, lo cual resulta favorable para su utilización en sistemas de producción agrícola de pequeña escala, como los predominantes en la región Ayacucho.
2. En la evaluación de los parámetros técnicos, el rotocultor registró el mayor consumo de combustible ($0,72 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$) y la mayor fuerza de trabajo (1290.0 N), mientras que el cabezal de hilo de nylon presentó el menor consumo de combustible ($0,54 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$) y la menor fuerza requerida (75 N), evidenciando diferencias en los requerimientos operativos según el accesorio utilizado.
3. La velocidad de avance y la capacidad efectiva de trabajo estuvieron influenciadas por las características de cada accesorio. El cabezal de hilo de nylon alcanzó la mayor velocidad de avance ($3,0 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y la mayor capacidad efectiva de trabajo ($0,096 \text{ ha}\cdot\text{h}^{-1}$), mientras que el rotocultor presentó los menores valores debido a la mayor resistencia generada durante la remoción superficial del suelo.
4. La potencia útil requerida por los accesorios evaluados osciló entre 0.82 HP y 0.89 HP , valores inferiores a la potencia nominal del motor de la desmalezadora (746 W), evidenciando un adecuado equilibrio entre fuerza y velocidad durante la operación. Estos resultados confirman que las características técnicas del equipo se encuentran dentro de rangos operativos adecuados para labores de control mecánico de malezas y manejo superficial del suelo en cultivos de la región

5. La evaluación de los parámetros agrotécnicos evidenció que la desmalezadora BONELLY BNTT2 presenta una eficiencia de control mecánico de malezas entre 75 % y 83 %, dependiendo del tipo de accesorio y del cultivo evaluado. La fresa de escardado (estrella) mostró un desempeño eficiente en cultivos en hileras como frejol y maíz, alcanzando valores cercanos al 80 % de control, mientras que el cabezal de hilo de nylon presentó mejores resultados en coberturas vegetales densas como el kikuyo. Asimismo, el análisis de la capacidad de trabajo efectivo indicó valores entre 0,038 y 0,096 ha·h⁻¹, siendo el cabezal de hilo de nylon el accesorio con mayor rendimiento operativo. Estos resultados demuestran que la desmalezadora evaluada constituye una alternativa tecnológica viable para el control mecánico de malezas en sistemas agrícolas de pequeña escala, contribuyendo a mejorar la eficiencia de las labores de campo y a reducir la dependencia de herbicidas químicos.
6. Los resultados obtenidos permiten concluir que la desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52 constituye una alternativa de mecanización agrícola ligera para labores de control mecánico de malezas y manejo de coberturas vegetales en sistemas de agricultura familiar de la región Ayacucho.

CAPÍTULO V

5. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda promover el uso de la desmalezadora a rueda BONELLY BNTT52 en sistemas de agricultura familiar de la región Ayacucho, debido a su versatilidad operativa y su capacidad para desarrollar labores de control mecánico de malezas utilizando diferentes accesorios de trabajo.
2. Para labores de escarda mecánica en cultivos sembrados en hileras, como frejol y maíz, se recomienda el uso de la fresa de escardado (estrella), debido a los niveles de eficiencia de control obtenidos durante las evaluaciones de campo.
3. Para el manejo de coberturas vegetales y vegetación rastrera, se recomienda emplear el cabezal de hilo de nylon, debido a que presentó la mayor velocidad de avance, la mayor capacidad efectiva de trabajo y una adecuada eficiencia de control.
4. Para labores de corte y manejo de cultivos forrajeros como la alfalfa, se recomienda utilizar el cabezal de cuchilla de dos puntas, debido a la elevada eficiencia de corte alcanzada durante las evaluaciones.
5. Se recomienda realizar futuras investigaciones considerando diferentes condiciones de suelo, estados de desarrollo de las malezas y tipos de cultivo, con el propósito de ampliar la información sobre el desempeño de la desmalezadora BONELLY BNTT52 en distintos escenarios agrícolas.
6. Se recomienda incrementar el número de repeticiones y complementar las evaluaciones con análisis estadísticos inferenciales, con la finalidad de fortalecer la precisión de los resultados y facilitar comparaciones entre accesorios y condiciones de trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

- Alizadeh, M. R. (2011). *Field performance evaluation of mechanical weeders in the paddy field*. *Scientific Research and Essays*, 6(25), 5427–5434. <https://doi.org/10.5897/SRE11.1412>
- American Society of Agricultural and Biological Engineers. (2020). *ASABE standards: Machinery management data (D497.7)*. ASABE.
- Bashir, M., Singh, J., & Ahmed, R. (2024). *Smart mechanization for sustainable agriculture: Integrating automation and IoT in field operations*. *Agricultural Systems*, 225, 103607. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2024.103607>
- Chatizwa, L. (1997). *Mechanical weed control: The case of hand weeders*. En *Proceedings of the British Crop Protection Conference – Weeds* (pp. 203–208).
- Dorado, J., del Monte, J. P., & López-Fando, C. (1997). *Influencia de los sistemas de manejo en la evolución del banco de semillas del suelo en cultivos cerealistas*. En *Actas del Congreso de la Sociedad Española de Malherbología* (pp. 121–126).
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Agricultural mechanization strategy for smallholders in developing countries*. <https://www.fao.org>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *Farm mechanization for smallholders in developing countries*. <https://www.fao.org>
- García, L., & Fernández-Quintanilla, C. (1991). *Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas*. Mundi-Prensa.
- Gil, J. (2023). *Innovaciones en maquinaria para la escarda mecánica*. INNOVAGRI. <https://www.innovagri.es/investigacion-desarrollo-innovacion/innovaciones-en-maquinaria-para-la-escarda-mecanica.html>
- Hunt, D., & Wilson, D. (2016). *Farm power and machinery management* (11th ed.). Waveland Press.
- Kepner, R. A., Bainer, R., & Barger, E. L. (1987). *Principles of farm machinery* (3rd ed.). AVI Publishing Company.

- Mandal, P., Singh, R., & Debnath, S. (2020). *Performance evaluation of manually operated weeders for small farms. Journal of Agricultural Engineering Research, 185*, 102–110.
- McKyes, P. (1995). *Soil cutting and tillage*. Elsevier Science Publishers.
- Melander, B., Munier-Jolain, N., Charles, R., Wirth, J., Schwarz, J., van der Weide, R., Bonin, L., Jensen, P., & Kudsk, P. (2013). *European perspectives on the adoption of non-chemical weed management in reduced-tillage systems for arable crops. Weed Technology, 27*(1), 231–240.
- Mohan, S., Sanjana, G., & Kumar, D. (2019). *Evaluation of power performance parameters. International Journal of Chemical Studies, 7*(3), 1760–1764.
- Morales, P. (2020). *Evaluación de un sistema de mecanización para el mantenimiento del cultivo del café conformado por una desmalezadora, pulverizadora y abonadora adaptado a una motocicleta y base triciclo, en la finca experimental del Centro de Investigación del ICAFE en Barva de Heredia* [Proyecto de graduación, Instituto Tecnológico de Costa Rica].
- Otañez, A. E., & Granja, J. A. (2021). *Diseño y construcción de una deshierbadora mecánica para siembras de ciclo corto* [Trabajo de titulación, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23428>
- Rivera, R. (2021). *Adaptación y evaluación de una cultivadora multiuso de tracción mecánica en cultivos alimenticios, Ayacucho–2020* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional UNSCH. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/408e40ca-4caa-4303-8c57-f23588b36723>
- Segovia, D. E. (2021). *Diseño y validación mediante software de un deshierbador manual para uso en pequeñas áreas de terreno* [Trabajo de titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].
- Singh, S., Kumar, A., & Pathak, P. (2019). *Design and development of wheel hoe weeders for hill agriculture. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 50*(2), 45–53.

- Srivastava, A. K., Goering, C. E., Rohrbach, R. P., & Buckmaster, D. R. (2006). *Engineering principles of agricultural machines* (2nd ed.). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Tejada-Campos, T. N. (2022). *Generación de un equipo de labranza para la agricultura familiar: La cultivadora INIA. Revista de Investigación en Agricultura y Producción*, 8(1). <https://doi.org/10.25127/riagrop.20224.878>
- Tiwari, V. K., Chandel, N. S., Vidhu, K. P., & Tripathi, H. (2014). *Performance evaluation and scope of adaptation of rotary power weeder in vegetable crops. Agricultural Engineering Today*, 38(3), 10–14.
- Young, S. L., & Pierce, F. J. (2014). *Automation: The future of weed control in cropping systems*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7512-1>
- Younie, D., & Taylor, B. R. (1995). *Maximizing crop competition to minimise weeds. New Farmer and Grower*, 1.

ANEXOS

ANEXO A: Especificaciones de la desmalezadora BONELLY BNTT52

A.1 Especificaciones generales del equipo

Tabla 17*Especificaciones generales de la desmalezadora BONELLY BNTT52*

Especificación / Parámetro	DLT 10000	DTL 13000	DTL 11000D
CATEGORÍA: MOTOR Y RENDIMIENTO			
Tipo de Combustible	Gasolina	Gasolina	Diésel
Sistema de Arranque	Manual	Manual	Eléctrico
Tipo de Motor	4T (OHV)	4T (OHV)	4T (OHV)
Cilindrada	212 cc	389 cc	418 cc
Potencia Máxima	7.0 hp	13 hp	10 hp
Potencia Nominal (kW / rpm)	4.3 / 3,600	5.7 / 3,600	5.9 / 3,600
Diámetro × Carrera	70 × 55 mm	88 × 64 mm	88 × 75 mm
Torque Máximo	12.0 Nm / 2,800 rpm	25.0 Nm / 2,800 rpm	21.7 Nm / 2,800 rpm
Capacidad Tanque Combustible	4.3 L	6.5 L	5.5 L
Capacidad Tanque Aceite	0.6 L	1.1 L	1.65 L
Filtro de Aire	Baño de aceite	Baño de aceite	Baño de aceite
Dimensiones del Motor	390 × 330 × 330 mm	460 × 400 × 430 mm	440 × 420 × 495 mm
CATEGORÍA: TRANSMISIÓN Y OPERACIÓN			
Transmisión	Engranajes	Engranajes	Engranajes
Embrague	Multidiscos fricción	Multidiscos fricción	Multidiscos fricción
Velocidades	4 + 2	4 + 2	4 + 2
Ancho de Trabajo	600-800-1000 mm (2+1+1)	800-1000-1200 mm (3+1+1)	800-1000-1200 mm (3+1+1)
Manillar	Regulable en altura - Reversible	Regulable en altura - Reversible	Regulable en altura - Reversible
Soportes de Cuchilla	4	4	4
Cantidad de Cuchillas	32	40	40
Profundidad de Trabajo Máxima	320 mm	320 mm	320 mm
Sistema de Seguridad	Parada automática	Parada automática	Parada automática
CATEGORÍA: DIMENSIONES, PESO Y ACCESORIOS			
Accesorios Incluidos	Rueda 4.0 × 8 inch	Rueda 4.5 × 10 inch	Rueda 5.0 × 12 inch
Dimensiones Generales (mm)	1600 × 1000 × 1050	1800 × 1350 × 1050	1800 × 1150 × 1050
Peso Neto	91 kg	135 kg	175 kg
Peso Bruto	101 kg	150 kg	190 kg

A.2 Especificaciones generales del equipo

Tabla 18*Especificaciones generales de la desmalezadora a ruedas BONELLY BNTT52*

Ítem	Especificación técnica
Marca	BONELLY
Modelo	BNTT52
Tipo de equipo	Desmalezadora manual con ruedas
Sistema de tracción	Humana (empuje)
Aplicación principal	Escarda mecánica superficial y control de malezas
Sistema de trabajo	Corte, remoción superficial y desarraigo de malezas
Material del bastidor	Acero al carbono
Número de ruedas	2
Diámetro de ruedas	30 – 40 cm
Tipo de ruedas	Metálicas o neumáticas, según configuración
Ancho de trabajo	Regulable (20 – 40 cm)
Profundidad de trabajo	3 – 8 cm
Sistema de regulación	Ajuste manual de altura y ángulo
Peso del equipo	12 – 18 kg (según accesorio)
Condición de operación	Entre surcos de cultivos alimenticios
Tipo de usuario	Agricultura familiar y mecanización intermedia

Nota. Elaboración propia.

A.3 Especificaciones técnicas de los accesorios de trabajo

Tabla 19*Especificaciones técnicas de los accesorios de trabajo*

Accesorio	Descripción técnica	Forma de trabajo	Aplicación principal	Ventaja técnica
Cabezal de hilo de nylon	Carrete con filamentos de nylon de alta resistencia.	Corte por rotación del hilo.	Césped y malezas tiernas.	Seguro y versátil alrededor del cultivo.
Cuchilla de dos puntas	Disco metálico con dos filos de corte.	Corte rotativo de vegetación.	Malezas densas y forrajes.	Mayor capacidad y rapidez de corte.
Disco de sierra circular	Disco de acero con dientes cortantes.	Corte rotativo de tallos resistentes.	Arbustos y vegetación leñosa.	Alta penetración y durabilidad.
Fresa de escardado (estrella)	Discos metálicos dentados montados sobre un eje.	Corte y remoción superficial del suelo.	Control mecánico de malezas.	Favorece el desarraigo de malezas jóvenes.
Rotocultor (fresas de arado)	Conjunto de cuchillas rotativas para laboreo.	Remoción y mullido superficial del suelo.	Preparación del terreno y escardado.	Acondiciona el suelo en una sola operación.

Nota. Elaboración propia con base en las especificaciones técnicas de la desmalezadora BONELLY BNTT52 y Hunt y Wilson (2016).

A.4 Observaciones técnicas para la evaluación experimental

Tabla 20*Observaciones técnicas para la evaluación experimental*

Aspecto evaluado	Consideración técnica
Tipo de suelo	Franco a franco-arenoso.
Humedad del suelo	Humedad media, sin saturación.
Estado de las malezas	Malezas en crecimiento activo.
Operación del equipo	Operador capacitado y uso adecuado de los accesorios.
Condiciones de trabajo	Velocidad uniforme y profundidad constante durante la evaluación.

Nota. Elaboración propia.

ANEXO B: Ficha técnica de la desmalezadora BONELLY BNTT52



BNTT52 MOTOGUADAÑA A RUEDA

PRODUCTO:	BNTT52
TIPO:	2 TIEMPOS
DESPLAZAMIENTO:	43 C.C.
POTENCIA:	1HP
RPM:	7000RPM
CARBURADOR:	DIAFRAGMA
TIPO:	RUEDA
MATERIAL DE TUBO:	ALUMINIO
TANQUE DE GASOLINA:	1200ML
MIX RATIO	25:1
DIÁMETRO X CARRERA:	40X34MM
RACIÓN DE COMPRESIÓN	8:1
SISTEMA DE ARRANQUE:	RETRÁCTIL
PESO SECO:	4.1KG
ESPESOR DE TUBO:	8MM
SISTEMA POR ENFRIAMIENTO:	REFRIGERACIÓN POR AIRE
DIMENSIÓN 1:	66X49X35 CM

INCLUYE:



CORTE NYLON



CORTE ALFALFA



CUCHILLA 3 T



DISCO SIERRA



LABRADOR



ROTOVADOR



**ANEXO C: Resumen de la
descripción de los accesorios de
trabajo de la desmalezadora
BONELLY BNTT52**

B.1 Resumen de la descripción de los accesorios de trabajo de la desmalezadora BONELLY BNTT52

Tabla 21

Descripción de los accesorios de trabajo de la desmalezadora BONELLY BNTT52

N°	Accesorio	Características técnicas	Función y uso	Método de operación	Parámetros técnicos referenciales	Capacidad aproximada
1	Fresa de escardado (estrella)	• Aspas múltiples en forma de estrella • Acero resistente al desgaste • Diseño flexible	Corte de hierba superficial y maleza blanda sin remover profundamente el suelo.	Se opera a velocidad media, desplazando el equipo de forma continua.	• Ancho de trabajo: 25–30 cm • Profundidad: 2–5 cm • RPM: media	0.30 – 0.45 ha/h
2	Cabezal de cuchilla 2 puntas	• Dos cuchillas metálicas • Filo reforzado • Alta capacidad de corte	Corte de maleza dura, pasto alto y vegetación semidensa.	El operador dirige el cabezal hacia la base de la maleza, manteniendo control y avance constante.	• Ancho de corte: 25–30 cm • RPM: alta • Altura de corte regulable	0.25 – 0.35 ha/h
3	Rotocultor (fresas de arado)	• Cuchillas rígidas de acero templado • Eje reforzado • Alta penetración en suelo	Remoción del suelo, labranza superficial y preparación de terreno para siembra.	Se opera a baja velocidad de avance, permitiendo que las fresas penetren y remuevan el suelo progresivamente.	• Ancho de trabajo: 20–25 cm • Profundidad: 8–15 cm • RPM: media	0.10 – 0.20 ha/h
4	Cabezal de hilo de nylon	• Hilo de nylon flexible • Sistema giratorio • Incluye protector	Corte de césped regular, maleza blanda y bordes cercanos a obstáculos.	Se desplaza suavemente el equipo evitando golpes directos contra superficies duras.	• Ancho de corte: 30–40 cm • Espesor del hilo: 2–3 mm • RPM: alta	0.35 – 0.50 ha/h
5	Disco de sierra circular	• Disco circular dentado • Acero endurecido • Corte agresivo	Corte de arbustos leñosos, tallos gruesos y troncos finos.	Se avanza lentamente permitiendo que los dientes del disco realicen el corte progresivo.	• Diámetro: 25–30 cm • RPM: alta • Tipo de corte: leñoso	0.20 – 0.30 ha/h

ANEXO D: Procedimiento para determinación del consumo de combustible

C.1 Procedimiento para determinación del consumo de combustible de la desmalezadora BONELLY BNTT52 (repetición 1)

a) Procedimiento de evaluación

Para determinar el consumo de combustible de la desmalezadora a rueda, se realizaron pruebas de funcionamiento en campo para cada accesorio de trabajo. Cada prueba tuvo una duración de 15 minutos, utilizando un volumen inicial aproximado de 500 mL de gasolina. Al finalizar cada prueba se registró el volumen remanente de combustible mediante una probeta graduada.

El consumo de combustible se determinó mediante la diferencia entre el volumen inicial y el volumen final, expresándose posteriormente en litros por hora ($L \cdot h^{-1}$).

b) Fórmula empleada

El consumo de combustible se determino mediante:

$$CC = (V_i - V_f) / T$$

Donde:

- CC = consumo de combustible (mL/min)
- V_i = volumen inicial de combustible (mL)
- V_f = volumen final de combustible (mL)
- T = tiempo de funcionamiento (min)

Para expresar el resultado en litros por hora:

$$CC_{(l/h)} = (V_i - V_f) / T$$

b) Ejemplo de cálculo

Como ejemplo, se presenta el cálculo correspondiente a la fresa de escardado (estrella), repetición 1.

Datos registrados:

$V_i = 500\text{ml}$

$V_f = 345\text{ ml}$

$T = 15\text{ min.}$

Determinación del combustible consumido

$CC = 500 - 345\text{ ml} / 15\text{ min.}$

$CC = 155\text{ ml} / 15\text{ min}$

$CC = 10.33\text{ml/min}$

Conversión a litros por hora

$CC = (10.33 \times 60) / 1000$

$CC = 0.62\text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$

Por lo tanto, para la fresa de escardado (estrella), repetición 1, se obtuvo un consumo de combustible de $0,62\text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$.

Tabla 22

Datos y resultados de la determinación del consumo de combustible para la fresa escardado (estrella)

Accesorio de trabajo	Rep.	Tiempo (min)	V_i (mL)	V_f (mL)	Consumido (mL)	Consumo ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$)
Fresa de escardado (estrella)	1	15	500,0	345,0	155,0	0,62
	2	15	500,0	340,0	160,0	0,64
	3	15	500,0	342,5	157,5	0,63
Promedio						0,63

Tabla 23

Datos y resultados de la determinación del consumo de combustible para el cabezal de cuchilla 2 puntas

Accesorio de trabajo	Rep.	Tiempo (min)	V_i (mL)	V_f (mL)	Consumido (mL)	Consumo ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$)
Cabezal de cuchilla 2 puntas	1	15	500,0	355,0	145,0	0,58
	2	15	500,0	357,5	142,5	0,57
	3	15	500,0	352,5	147,5	0,59
Promedio						0,58

Tabla 24

Datos y resultados de la determinación del consumo de combustible para la rotocultor (fresa de arado)

Accesorio de trabajo	Rep.	Tiempo (min)	Vi (mL)	Vf (mL)	Consumido (mL)	Consumo (L·h ⁻¹)
Rotocultor (fresas de arado)	1	15	500,0	322,5	177,5	0,71
	2	15	500,0	317,5	182,5	0,73
	3	15	500,0	320,0	180,0	0,72
Promedio						0,72

Tabla 25

Datos y resultados de la determinación del consumo de combustible para el cabezal de hilo nylon

Accesorio de trabajo	Rep.	Tiempo (min)	Vi (mL)	Vf (mL)	Consumido (mL)	Consumo (L·h ⁻¹)
Cabezal de hilo de nylon	1	15	500,0	365,0	135,0	0,54
	2	15	500,0	362,5	137,5	0,55
	3	15	500,0	367,5	132,5	0,53
Promedio						0,54

Tabla 26

Datos y resultados de la determinación del consumo de combustible para el disco de sierra circular

Accesorio de trabajo	Rep.	Tiempo (min)	Vi (mL)	Vf (mL)	Consumido (mL)	Consumo (L·h ⁻¹)
Disco de sierra circular	1	15	500,0	350,0	150,0	0,60
	2	15	500,0	347,5	152,5	0,61
	3	15	500,0	352,5	147,5	0,59
Promedio						0,60

PANEL FOTOGRAFICO

Figura 7

Mezcla de combustible y aceite para la desmalezadora con ruedas BONELLY BNTT52



Figura 8

Cambio de accesorio para trabajos y mediciones de la desmalezadora



Figura 9

Desmalezadora BONELLY BNTT52 empleada en la investigación



Figura 10

Cuchilla de dos puntas de la desmalezadora BONELLY BNTT52



Figura 10

Trabajo parcelario con la desmalezadora BONELLY BNTT2



Figura 12

Trabajo manual para el deshierbo



Figura 13

Ancho de trabajo para los trabajos del desmalezado con la BONELLY BNTT 52



Figura 14

Calculo de la fuerza de trabajo con el uso del dinamómetro



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS
Bach. ALEXANDER JUNIORS ESPINOZA HUAMAN

R.D. N° 362-2026-UNSCH-FCA-D

En la ciudad de Ayacucho, a los catorce días del mes de agosto del año dos mil veintiséis, siendo las nueve 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. Efraín Chuchón Prado, M.Sc. Federico Quicaño Suárez como asesor, Mtro. José Antonio Luna Guerra e Ing. John Samuel Cazorla Orihuela; actuando como secretario de actas el Mtro. Rodolfo Alca Mendoza, para recibir la sustentación de la Tesis titulado: **Evaluación de parámetros técnicos y agrotécnicos de una desmalezadora a ruedas BONELLY BNTT52, Ayacucho-2024**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el Bachiller **ALEXANDER JUNIORS ESPINOZA HUAMAN**.

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 invitó 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. Efraín Chuchón Prado	15	15	15	15
M.Sc. Federico Quicaño Suárez	16	16	16	16
Mtro. José Antonio Luna Guerra	16	15	15	15
Ing. John Samuel Cazorla Orihuela	15	15	15	15
PROMEDIO GENERAL				15

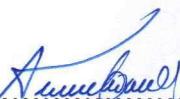
Acto seguido se invita a la sustentante y público en general para dar a conocer el resultado final. Firman el acta.



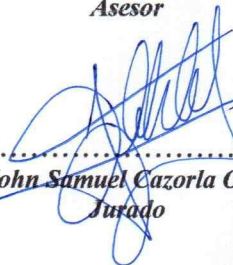
Ing. Efraín Chuchón Prado
Presidente



M.Sc. Federico Quicaño Suárez
Asesor



Mtro. José Antonio Luna Guerra
Jurado



Ing. John Samuel Cazorla Orihuela
Jurado



Mtro. Rodolfo Alca Mendoza
Secretario Docente

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 R.D N° 437-2026-UNSCH-FCA-D; hace constar que el trabajo titulado;

Evaluación de parámetros técnicos y agrotécnicos de una desmalezadora a ruedas BONELLY BNTT52, Ayacucho – 2024

Autor : Alexander Juniors ESPINOZA HUAMAN
Asesor : Federico QUICAHÑO SUÁREZ

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 N°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: 3033839382.

Ayacucho, 16 de setiembre de 2026

.....

Mtro. Carlos Augusto Castañeda Esquén
Docente Instructores -EPIA

Evaluación de parámetros técnicos y agrotécnicos de una desmalezadora a ruedas BONELLY BNTT52, Ayacucho – 2024

por Alexander Juniors Espinoza Huaman

Fecha de entrega: 15-sept-2026 06:58a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 3032715590

Nombre del archivo: TESIS_AJEH_FINAL.pdf (2.78M)

Total de palabras: 18886

Total de caracteres: 116255

Evaluación de parámetros técnicos y agrotécnicos de una desmalezadora a ruedas BONELLY BNTT52, Ayacucho – 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%	5%	1%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsch.edu.pe	2%
	Fuente de Internet	
2	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	1%
	Trabajo del estudiante	
3	repositorio.chapingo.edu.mx	1%
	Fuente de Internet	
4	repositoriotec.tec.ac.cr	<1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.uiix.edu.mx	<1%
	Fuente de Internet	
6	Martín Tanco, Matías Aresti, Julio Villalobos, Diego Moratorio, Daniel Jurburg, Jose Holguin-Veras. "Assessment of the effectiveness of a fuel additive to reduce fuel consumption of HDVs highlights the importance of verification programs", Energy, 2019	<1%
	Publicación	
7	es.melma.com	<1%
	Fuente de Internet	
8	utm.edu.ec	<1%
	Fuente de Internet	
9	repositorio.unica.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	
10	tesis.pucp.edu.pe	<1%
	Fuente de Internet	

Evaluación de parámetros técnicos y agrotécnicos de una desmalezadora a ruedas BONELLY BNTT52, Ayacucho – 2024

Alexander Juniors Espinoza Huamán¹

Federico Quicaño Suarez²

Área de investigación: Biotecnología

Línea de Investigación: Infraestructura y Mecanización Agrícola

alexander.espinoza.21@unsch.edu.pe¹

federico.quicaño@unsch.edu.pe²

Resumen

El control de malezas constituye una de las labores agrícolas que demanda mayor cantidad de mano de obra en sistemas de producción familiar, particularmente cuando se desarrolla mediante métodos manuales. En este contexto, la mecanización agrícola ligera representa una alternativa para incrementar la eficiencia de las operaciones y reducir el esfuerzo requerido. El objetivo de la investigación fue evaluar los parámetros técnicos y agrotécnicos de una desmalezadora a ruedas BONELLY BNTT52 durante labores de control mecánico de malezas y manejo de cobertura vegetal en condiciones de campo de la región Ayacucho. La investigación fue de enfoque cuantitativo, tipo aplicada y nivel descriptivo, mediante evaluaciones de campo con cinco accesorios: fresa de escardado tipo estrella, cuchilla de dos puntas, rotocultor, cabezal de hilo de nylon y disco de sierra circular. Cada tratamiento fue evaluado en tres repeticiones, totalizando 15 evaluaciones. Se determinaron consumo de combustible, fuerza de trabajo, velocidad de avance, potencia útil y capacidad efectiva de trabajo. Asimismo, se evaluó la eficiencia de control mecánico mediante conteo de malezas, determinación de biomasa y estimación de cobertura vegetal, según el cultivo intervenido. El consumo de combustible varió entre 0,54 y 0,72 L h⁻¹; la fuerza de trabajo entre 75 y 129 N; la velocidad de avance entre 1,7 y 3,0 km h⁻¹; la potencia útil entre 60,9 y 64,3 W; y la capacidad efectiva entre 0,038 y 0,096 ha h⁻¹. La eficiencia agrotécnica varió entre 75,7 y 86,7 %, alcanzando el mayor valor con la cuchilla de dos puntas en alfalfa. El cabezal de hilo de nylon presentó la mayor velocidad y capacidad efectiva de trabajo, mientras que el rotocultor presentó los mayores requerimientos de combustible y fuerza. Se concluye que la BONELLY BNTT52 constituye una alternativa técnicamente viable para la mecanización agrícola ligera en sistemas de agricultura familiar de Ayacucho.

Palabras clave: mecanización agrícola; control mecánico de malezas; desmalezadora de ruedas; capacidad de trabajo; consumo de combustible.

Abstract

Weed control is one of the agricultural operations requiring the greatest amount of labor in family farming systems, particularly when performed manually. In this context, light agricultural mechanization represents an alternative for increasing operational efficiency and reducing the physical effort required. The objective of this study was to evaluate the technical and agrotechnical parameters of a BONELLY BNTT52 wheeled weeder during mechanical weed control and vegetation management under field conditions in the Ayacucho region,

Peru. The study used a quantitative approach, was applied in nature, and had a descriptive level. Field evaluations were conducted using five attachments: star-type weeding rotor, two-point blade, rotary tiller, nylon line head, and circular saw disc. Each treatment was evaluated in three independent replications, resulting in 15 evaluations. Fuel consumption, operating force, forward speed, useful power, and effective field capacity were determined. Mechanical weed-control efficiency was also evaluated through weed counting, biomass determination, and vegetation-cover assessment, according to the crop evaluated. Fuel consumption ranged from 0.54 to 0.72 L h⁻¹; operating force from 75 to 129 N; forward speed from 1.7 to 3.0 km h⁻¹; useful power from 60.9 to 64.3 W; and effective field capacity from 0.038 to 0.096 ha h⁻¹. Agrotechnical efficiency ranged from 75.7 to 86.7%, with the highest value obtained using the two-point blade in alfalfa. The nylon line head achieved the highest forward speed and effective field capacity, whereas the rotary tiller required the greatest fuel consumption and operating force. It is concluded that the BONELLY BNTT52 represents a technically viable alternative for light agricultural mechanization in family farming systems in Ayacucho.

Keywords: agricultural mechanization; mechanical weed control; wheeled weeder; field capacity.

1. Introducción

La agricultura familiar constituye una actividad fundamental para la seguridad alimentaria y el desarrollo rural, especialmente en regiones donde predominan unidades productivas de pequeña escala. En estos sistemas, una proporción importante de las labores agrícolas continúa dependiendo de la mano de obra familiar, situación que puede limitar la capacidad de atención oportuna de las operaciones productivas y elevar los costos asociados al trabajo agrícola. La mecanización apropiada constituye, por ello, una alternativa orientada a incrementar la productividad, reducir la demanda de mano de obra y mejorar las condiciones de trabajo. Entre las labores que requieren atención periódica se encuentra el control de malezas. Las especies espontáneas compiten con los cultivos por agua, nutrientes, radiación solar y espacio, pudiendo afectar su desarrollo y productividad. Tradicionalmente, los agricultores de pequeña escala recurren al deshierbo manual, método que presenta ventajas relacionadas con su simplicidad, pero que demanda tiempo y esfuerzo físico considerable. El control mecánico constituye una alternativa que permite intervenir físicamente la vegetación mediante corte, escarda, remoción o desarraigo. La desmalezadora a ruedas BONELLY BNTT52 es un equipo de pequeña potencia que puede operar con diferentes accesorios. De acuerdo con las especificaciones consignadas en la investigación, cuenta con motor de dos tiempos de 43 cm³, potencia nominal de 1 HP (746 W), régimen de operación de 7000 rpm, tanque de combustible de 1200 mL y sistema de enfriamiento por aire. La posibilidad de intercambiar accesorios permite modificar la función de la unidad motriz de acuerdo con las características de la labor. En la investigación se evaluaron una fresa de escardado tipo estrella, cuchilla de dos puntas, rotocultor, cabezal de hilo de nylon y disco de sierra circular.

En el ámbito nacional, el desarrollo de equipos orientados a la agricultura familiar ha evidenciado la importancia de la mecanización apropiada. Tejada-Campos (2022), mediante el desarrollo de la Cultivadora INIA, mostró el potencial de los equipos de pequeña escala

para disminuir la demanda de mano de obra y mejorar la eficiencia de las labores de campo. En Ayacucho, Rivera (2021) y Aguilar Ochoa (2021) evaluaron equipos de mecanización agrícola bajo condiciones locales, destacando la importancia de adaptar la tecnología a las características de los sistemas productivos de la región.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

La investigación se desarrolló en la región Ayacucho, provincia de Huamanga, distrito de Ayacucho, principalmente en áreas del Centro Experimental Canaán y del Programa de Pastos. Estas áreas fueron seleccionadas debido a que permiten evaluar equipos de mecanización ligera bajo condiciones agrícolas representativas de la región. La zona presenta condiciones características de los valles interandinos de Ayacucho. La documentación de la investigación reporta una temperatura media anual aproximada de 13,2 °C y una precipitación media anual cercana a 710 mm, con marcada estacionalidad de las precipitaciones. Las evaluaciones incluyeron parcelas con cultivos y coberturas vegetales de frejol, alfalfa, kikuyo y maíz. Las condiciones del terreno permitieron el desplazamiento de la máquina y la realización de las evaluaciones técnicas y agrotécnicas.

2.2 Equipo y accesorios

El equipo evaluado fue una desmalezadora a ruedas BONELLY BNNT52 equipada con motor de combustión interna de dos tiempos. Las principales especificaciones se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Características técnicas principales de la BONELLY BNNT52

Característica	Especificación
Marca	BONELLY
Modelo	BNNT52
Motor	Dos tiempos
Cilindrada	43 cm ³
Potencia nominal	1 HP (746 W)
Régimen nominal	7000 rpm
Arranque	Retráctil
Capacidad del tanque	1200 mL
Refrigeración	Aire
Peso seco	4,1 kg

Fuente: elaboración propia a partir de la información experimental.

Se evaluaron cinco accesorios: fresa de escardado tipo estrella, cuchilla de dos puntas, rotocultor, cabezal de hilo de nylon y disco de sierra circular. La metodología de la investigación los estableció como cinco tratamientos, cada uno con tres repeticiones, para un total de 15 evaluaciones.

2.3 Diseño y procedimiento experimental

La investigación fue de enfoque cuantitativo, tipo aplicada y nivel descriptivo, desarrollada mediante evaluaciones directas de campo. Cada unidad experimental estuvo constituida por una parcela lineal de 5 m de longitud, mientras que el ancho efectivo dependió del accesorio utilizado. Para la evaluación agrotécnica se emplearon cuadrantes de 1 m². Antes de cada evaluación se verificó el estado operativo del equipo y el ajuste del accesorio correspondiente. El consumo de combustible se determinó mediante método volumétrico, registrando el volumen inicial y final durante un periodo determinado. La fuerza fue medida mediante dinamómetro y la velocidad mediante la relación entre distancia recorrida y tiempo empleado.

La potencia útil se determinó mediante: $P = F \times V$

Donde:

P = potencia útil (W)

F = fuerza de trabajo (N)

V = velocidad de avance (m s⁻¹)

La capacidad efectiva se calculó mediante: $CET = A / T$

Donde:

CET = capacidad efectiva de trabajo (ha·h⁻¹)

A = área trabajada (ha)

T = tiempo efectivo de trabajo (h)

En maíz y frejol se realizó conteo de malezas antes y después de la operación; en alfalfa se determinó biomasa inicial y residual, mientras que en kikuyo se evaluó cobertura vegetal. Los datos fueron procesados mediante estadística descriptiva, calculando promedios de las tres repeticiones correspondientes a cada tratamiento.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización técnica de la máquina

La BONELLY BNTT52 presentó una configuración apropiada para operaciones de mecanización ligera. Su motor de 43 cm³ y potencia nominal de 746 W permite accionar diferentes accesorios, mientras que su sistema de ruedas facilita el desplazamiento y control del equipo durante la operación.

La principal ventaja operacional observada fue la posibilidad de utilizar una misma unidad motriz para diferentes labores. La fresa de escardado estuvo orientada al trabajo entre hileras; la cuchilla de dos puntas al corte de vegetación herbácea; el rotocultor a la remoción superficial del suelo; el hilo de nylon al corte de vegetación ligera; y el disco de sierra a vegetación de mayor resistencia.

Esta versatilidad constituye una característica importante para sistemas de agricultura familiar, donde la adquisición de diferentes máquinas especializadas puede resultar poco accesible.

3.2 Consumo de combustible

El consumo de combustible mostró diferencias asociadas al accesorio empleado (Tabla 2).

Tabla 2.
Consumo de combustible de la BONELLY BNTT52

Accesorio	R1	R2	R3	Promedio (L h ⁻¹)
Fresa de escardado	0,62	0,64	0,63	0,63
Cuchilla de dos puntas	0,58	0,57	0,59	0,58
Rotocultor	0,71	0,73	0,72	0,72
Hilo de nylon	0,54	0,55	0,53	0,54
Disco de sierra	0,60	0,61	0,59	0,60

Fuente: elaboración propia.

El mayor consumo correspondió al rotocultor, con 0,72 L h⁻¹, mientras que el menor se obtuvo con el cabezal de hilo de nylon, con 0,54 L h⁻¹. El comportamiento puede explicarse por la diferencia en la interacción entre el órgano de trabajo y el medio. El rotocultor introduce sus órganos activos en el suelo, generando resistencia adicional y, consecuentemente, mayor demanda energética. En contraste, el cabezal de hilo de nylon

trabaja principalmente mediante corte de vegetación superficial, con menor resistencia al desplazamiento.

Este resultado coincide con el principio general de que la demanda energética de una máquina agrícola depende de la resistencia específica de la labor, las condiciones del suelo y las características del implemento. Desde el punto de vista operativo, el menor consumo registrado con hilo de nylon constituye una ventaja cuando la labor consiste principalmente en mantenimiento de cobertura vegetal y corte de malezas herbáceas.

3.3 Fuerza de trabajo

La fuerza requerida por la máquina varió entre los accesorios evaluados.

Tabla 3.

Fuerza de trabajo requerida

Accesorio	R1 (N)	R2 (N)	R3 (N)	Promedio (N)
Fresa de escardado	102	105	104	103,7
Cuchilla de dos puntas	88	90	89	89,0
Rotocultor	128	130	129	129,0
Hilo de nylon	74	76	75	75,0
Disco de sierra	92	94	93	93,0

Fuente: elaboración propia.

El rotocultor presentó el mayor requerimiento, con 129 N, mientras que el hilo de nylon presentó el menor, con 75 N.

La diferencia está relacionada principalmente con la interacción mecánica del accesorio con el terreno. Las fresas del rotocultor penetran y remueven el suelo, generando resistencia al avance, mientras que el hilo de nylon efectúa principalmente corte de vegetación. Este comportamiento resulta importante para la selección del accesorio. Para labores que no requieren remoción del suelo, la utilización de órganos de corte de menor resistencia puede disminuir la exigencia mecánica sobre el conjunto operador-máquina.

3.4 Velocidad de avance

La velocidad promedio osciló entre 1,7 y 3,0 km h⁻¹.

Tabla 4.
Velocidad de avance

Accesorio	Promedio (km h ⁻¹)
Fresa de escardado	2,2
Cuchilla de dos puntas	2,6
Rotocultor	1,7
Hilo de nylon	3,0
Disco de sierra	2,4

Fuente: elaboración propia.

La mayor velocidad correspondió al hilo de nylon, con 3,0 km h⁻¹, mientras que el rotocultor registró 1,7 km h⁻¹.

La menor velocidad del rotocultor es consistente con la mayor fuerza requerida y con la interacción directa de sus órganos activos con el suelo. Por el contrario, la menor resistencia al avance del hilo de nylon permitió alcanzar una velocidad mayor.

3.5 Potencia útil

La potencia útil calculada presentó un intervalo relativamente reducido entre accesorios, comprendido entre 60,9 y 64,3 W.

Tabla 5.
Potencia útil según accesorio

Accesorio	Fuerza (N)	Velocidad (km h ⁻¹)	Potencia útil (W)
Fresa de escardado	103,7	2,2	63,3
Cuchilla de dos puntas	89,0	2,6	64,3
Rotocultor	129,0	1,7	60,9
Hilo de nylon	75,0	3,0	62,6
Disco de sierra	93,0	2,4	62,0

Fuente: elaboración propia.

La potencia útil máxima correspondió a la cuchilla de dos puntas, con 64,3 W, mientras que el menor valor correspondió al rotocultor, con 60,9 W. Los resultados muestran una variación relativamente pequeña entre configuraciones.

Es importante señalar que estos valores corresponden a la potencia útil calculada a partir de la fuerza de trabajo y velocidad de avance, y no a la potencia nominal del motor. La potencia nominal declarada para la máquina es de 746 W.

Por tanto, los resultados indican que durante las condiciones evaluadas la demanda de potencia útil calculada representó una fracción de la potencia nominal disponible.

3.6 Capacidad efectiva de trabajo

La capacidad efectiva fue determinada considerando la velocidad, ancho de trabajo y eficiencia de campo.

Tabla 6.
Capacidad efectiva de trabajo

Accesorio	Velocidad (km h ⁻¹)	Ancho (m)	Eficiencia	CET (ha h ⁻¹)
Fresa de escardado	2,2	0,30	0,80	0,053
Cuchilla de dos puntas	2,6	0,35	0,80	0,073
Rotocultor	1,7	0,28	0,80	0,038
Hilo de nylon	3,0	0,40	0,80	0,096
Disco de sierra	2,4	0,32	0,80	0,061

Fuente: elaboración propia.

El cabezal de hilo de nylon presentó la mayor capacidad efectiva, con 0,096 ha h⁻¹, mientras que el rotocultor presentó la menor, con 0,038 ha h⁻¹.

La diferencia puede explicarse por la combinación de velocidad y ancho efectivo. El hilo de nylon presentó simultáneamente la mayor velocidad y el mayor ancho de trabajo, factores que determinaron su elevada capacidad efectiva. El rotocultor, por el contrario, presentó menor velocidad y menor ancho.

Los resultados demuestran que la selección del accesorio debe considerar no solamente la capacidad de corte o control de malezas, sino también la superficie que puede atenderse por unidad de tiempo.

3.7 Eficiencia de control mecánico

La eficiencia agrotécnica presentó valores satisfactorios para las condiciones evaluadas.

Frejol

La fresa de escardado alcanzó una eficiencia promedio de control de 81,7 %, reduciendo la población de malezas de 43,7 a 8,0 plantas m^{-2} .

Este resultado confirma la utilidad de la fresa tipo estrella para cultivos establecidos en hileras, donde su acción puede concentrarse principalmente en el espacio entre plantas.

Alfalfa

La cuchilla de dos puntas presentó una eficiencia promedio de corte de 86,7 %, a partir de una biomasa inicial de 1,38 kg m^{-2} y una biomasa residual promedio de 0,18 kg m^{-2} .

Este fue el mayor valor de eficiencia agrotécnica registrado en la investigación.

Kikuyo (eliminación del kikuyo)

El cabezal de hilo de nylon alcanzó una eficiencia promedio de 83,3 %, reduciendo la cobertura residual hasta 16,7 %.

El resultado evidencia la utilidad del accesorio para el mantenimiento y reducción de coberturas vegetales herbáceas.

Maíz (Corte del maíz)

En maíz, el disco de sierra circular alcanzó una eficiencia promedio de 75,7 %, mientras que la fresa de escardado presentó una eficiencia de 80,0 %.

La mayor eficiencia de la fresa de escardado frente al disco de sierra en esta condición sugiere que el tipo de órgano de trabajo debe seleccionarse considerando la disposición del cultivo y la naturaleza de las malezas.

3.8 Discusión integrada

Los resultados demuestran que no existe un único accesorio que maximice simultáneamente todos los indicadores técnicos y agrotécnicos. El desempeño depende de la naturaleza de la labor. Desde el punto de vista energético, el rotocultor fue el accesorio más exigente, registrando 0,72 L h^{-1} de combustible y 129 N de fuerza. Esto se relaciona con su acción directa sobre el suelo y confirma que las operaciones de remoción superficial requieren mayores esfuerzos que las labores de corte superficial.

En contraste, el cabezal de hilo de nylon presentó el menor consumo, $0,54 \text{ L h}^{-1}$, la menor fuerza, 75 N , la mayor velocidad, $3,0 \text{ km h}^{-1}$, y la mayor capacidad efectiva, $0,096 \text{ ha h}^{-1}$. Este comportamiento permite considerar al hilo de nylon como una configuración particularmente favorable para labores de mantenimiento de cobertura vegetal y control de malezas de porte bajo, donde no sea necesaria la remoción del suelo.

La fresa de escardado presentó $81,7 \%$ de eficiencia de control en frejol y $80,0 \%$ en maíz, demostrando un comportamiento relativamente consistente en cultivos establecidos en hileras. La cuchilla de dos puntas, por su parte, alcanzó $86,7 \%$ en alfalfa, constituyéndose en la alternativa con mayor eficiencia agrotécnica dentro de las evaluaciones realizadas.

Estos resultados son coherentes con el principio de que la eficacia del control mecánico depende de la interacción entre implemento, cultivo, maleza, estado de desarrollo y condiciones del suelo. Alizadeh (2011) destacó la importancia de la capacidad de trabajo y eficiencia de control como indicadores para evaluar desmalezadoras mecánicas. Tiwari et al. (2014) también señalaron la influencia del tipo de implemento y de las condiciones de operación sobre la eficiencia del deshierbo.

Los resultados obtenidos en Ayacucho tienen especial relevancia para sistemas de agricultura familiar, debido a que una misma unidad motriz puede ser utilizada para diferentes labores mediante el cambio de accesorios. Esto permite ampliar la utilidad de la inversión en mecanización sin recurrir necesariamente a maquinaria de mayor tamaño.

Sin embargo, la eficiencia operacional no debe analizarse exclusivamente a partir de la capacidad efectiva. Una elevada capacidad puede estar acompañada de menor eficiencia de control si el accesorio no es apropiado para determinada vegetación. Por ello, la selección debe realizarse considerando conjuntamente los parámetros técnicos y agrotécnicos.

4. Conclusiones

- La desmalezadora a ruedas BONELLY BNNT52 presentó condiciones técnicas apropiadas para su utilización como equipo de mecanización agrícola ligera, debido a su bajo peso, motor de 43 cm^3 , potencia nominal de 1 HP y posibilidad de utilizar diferentes accesorios.
- El consumo de combustible dependió del accesorio empleado. El mayor consumo correspondió al rotocultor, con $0,72 \text{ L h}^{-1}$, mientras que el menor correspondió al cabezal de hilo de nylon, con $0,54 \text{ L h}^{-1}$.
- El rotocultor presentó el mayor requerimiento de fuerza, con 129 N , asociado con la resistencia generada durante la interacción de las fresas con el suelo. El cabezal de hilo de nylon presentó el menor requerimiento, con 75 N .
- La mayor velocidad de avance correspondió al cabezal de hilo de nylon, con $3,0 \text{ km h}^{-1}$, mientras que el rotocultor presentó la menor velocidad, con $1,7 \text{ km h}^{-1}$.
- La potencia útil calculada estuvo comprendida entre $60,9$ y $64,3 \text{ W}$, correspondiendo el mayor valor a la cuchilla de dos puntas. Estos valores se encontraron considerablemente por debajo de la potencia nominal del motor de 746 W .

- La mayor capacidad efectiva de trabajo correspondió al cabezal de hilo de nylon, con 0,096 ha h⁻¹, mientras que el rotocultor alcanzó 0,038 ha h⁻¹.
- La eficiencia agrotécnica varió entre 75,7 y 86,7 %. El mayor valor correspondió a la cuchilla de dos puntas utilizada en alfalfa, con 86,7 %, seguida del cabezal de hilo de nylon en kikuyo, con 83,3 %, y de la fresa de escardado en frejol, con 81,7 %.
- Para cultivos establecidos en hileras, la fresa de escardado mostró un comportamiento favorable, alcanzando 81,7 % de eficiencia en frejol y 80,0 % en maíz.
- La selección del accesorio debe realizarse de acuerdo con el tipo de cultivo, naturaleza y densidad de la vegetación, además de considerar la capacidad de trabajo y demanda energética.
- Bajo las condiciones evaluadas, la BONELLY BNTT52 constituye una alternativa de mecanización agrícola ligera con potencial de utilización en sistemas de agricultura familiar de la región Ayacucho.

5. Recomendaciones

- Utilizar la fresa de escardado en labores de control mecánico de malezas entre hileras de cultivos como frejol y maíz, procurando que la operación se realice durante las primeras etapas de desarrollo de las malezas.
- Utilizar el cabezal de cuchilla de dos puntas para labores de corte de alfalfa y vegetación herbácea de densidad media.
- Emplear el cabezal de hilo de nylon cuando se requiera elevada velocidad y capacidad efectiva de trabajo para el mantenimiento de coberturas vegetales y control de malezas de porte bajo.
- Reservar el rotocultor para labores donde sea necesaria la remoción superficial del suelo, considerando su mayor consumo de combustible y requerimiento de fuerza.
- Realizar nuevas investigaciones considerando diferentes contenidos de humedad del suelo, texturas, pendientes, densidades de malezas, estados fenológicos y velocidades de operación.
- Incrementar el número de repeticiones y utilizar diseños experimentales que permitan realizar análisis estadísticos inferenciales entre accesorios y condiciones de trabajo.
- Complementar futuras evaluaciones con indicadores económicos, tales como costo horario, costo de operación por hectárea, requerimiento de mano de obra y relación beneficio/costo.
- Evaluar la ergonomía y seguridad del operador, especialmente durante jornadas prolongadas y con accesorios de alta velocidad de rotación.

6. Referencias bibliográficas

Alizadeh, M. R. (2011). Field performance evaluation of mechanical weeders in the paddy field. *Scientific Research and Essays*, 6(25), 5427–5434. <https://doi.org/10.5897/SRE11.1412>

American Society of Agricultural and Biological Engineers. (2020). *ASABE standards: Machinery management data (D497.7)*. ASABE.

Bashir, M., Singh, J., & Ahmed, R. (2024). Smart mechanization for sustainable agriculture: Integrating automation and IoT in field operations. *Agricultural Systems*, 225, 103607. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.103607>

Chatizwa, L. (1997). Mechanical weed control: The case of hand weeders. En *Proceedings of the British Crop Protection Conference – Weeds* (pp. 203–208).

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Agricultural mechanization strategy for smallholders in developing countries*. FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *Farm mechanization for smallholders in developing countries*. FAO.

García, L., & Fernández-Quintanilla, C. (1991). *Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas*. Mundi-Prensa.

Hunt, D., & Wilson, D. (2016). *Farm power and machinery management* (11th ed.). Waveland Press.

Kepner, R. A., Bainer, R., & Barger, E. L. (1987). *Principles of farm machinery* (3rd ed.). AVI Publishing Company.

Melander, B., Munier-Jolain, N., Charles, R., Wirth, J., Schwarz, J., van der Weide, R., Bonin, L., Jensen, P., & Kudsk, P. (2013). European perspectives on the adoption of non-chemical weed management in reduced-tillage systems for arable crops. *Weed Technology*, 27(1), 231–240.

Morales, P. (2020). *Evaluación de un sistema de mecanización para el mantenimiento del cultivo del café conformado por una desmalezadora, pulverizadora y abonadora adaptado a una motocicleta y base triciclo, en la finca experimental del Centro de Investigación del ICAFE en Barva de Heredia* [Proyecto de graduación, Instituto Tecnológico de Costa Rica].

Otañez, A. E., & Granja, J. A. (2021). *Diseño y construcción de una deshierbadora mecánica para siembras de ciclo corto* [Trabajo de titulación, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/23428>

Rivera, R. (2021). *Adaptación y evaluación de una cultivadora multiuso de tracción mecánica en cultivos alimenticios, Ayacucho–2020* [Tesis de título profesional, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga].

Singh, S., Kumar, A., & Pathak, P. (2019). Design and development of wheel hoe weeders for hill agriculture. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 50(2), 45–53.

Srivastava, A. K., Goering, C. E., Rohrbach, R. P., & Buckmaster, D. R. (2006). *Engineering principles of agricultural machines* (2nd ed.). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Tejada-Campos, T. N. (2022). Generación de un equipo de labranza para la agricultura familiar: La cultivadora INIA. *Revista de Investigación en Agricultura y Producción*, 8(1). <https://doi.org/10.25127/riagrop.20224.878>

Tiwari, V. K., Chandel, N. S., Vidhu, K. P., & Tripathi, H. (2014). Performance evaluation and scope of adaptation of rotary power weeder in vegetable crops. *Agricultural Engineering Today*, 38(3), 10–14.

Young, S. L., & Pierce, F. J. (2014). *Automation: The future of weed control in cropping systems*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7512-1>