

LABRANZA MECANIZADA Y TRADICIONAL EN TERRAZAS DE LA PEQUEÑA AGRICULTURA ALTOANDINA EN PERÚ: COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

MECHANIZED AND TRADITIONAL TILLAGE ON TERRACES OF THE HIGH ANDEAN SMALL AGRICULTURE IN PERU: TECHNICAL AND ECONOMIC COMPARISON

Catherine Alva^{1*} y Noriyuki Baba²

¹ Círculo de Investigación Mechanization and Clean Energy, Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina s/n, Lima 15024, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-2208-9221>

² Technology Development Consultant Co., Ltd., Hakata ku Gohukumachi 12-8 Fukuoka 812-0036, Japan
<https://orcid.org/0000-0002-8110-835X>

* Autor para correspondencia: catherine.alva@outlook.es

RESUMEN

La delicada seguridad alimentaria, junto con la crisis económica y ambiental que afectan a las poblaciones más vulnerables de la zona altoandina del Perú, han puesto de manifiesto la importancia de la pequeña agricultura. El objetivo de este estudio fue realizar un análisis comparativo entre la labranza mecanizada y la tradicional, a partir de variables técnicas y económicas. Para esto, se estimó el gasto energético de los operarios, el desempeño de los equipos de labranza, la profundidad y el diámetro medio ponderado (MWD) de suelo labrado, y los tiempos y costos de labranza por hectárea. En labranza tradicional se emplearon la barreta y la yunta, mientras que la labranza mecanizada incluyó el uso de tres modelos de motocultores. Las parcelas fueron terrazas tipo 3, tipo 3-2 y tipo 2. El diseño estadístico fue de bloques completamente al azar. Para el análisis estadístico se utilizó el ANOVA y la prueba DMS. Los resultados indican que los tipos de labranza y terrazas que demandan menores tiempos y costos de labranza son los motocultores, la yunta y las terrazas tipo 2, beneficiando a la economía y seguridad alimentaria rural. La yunta y los motocultores se pueden utilizar de forma combinada para roturar y mullir el suelo, respectivamente. Para mejorar la evaluación de las variables técnicas (gasto energético, profundidad y MWD de suelo labrado) se requiere de un periodo de estudio más largo y aumentar las repeticiones. Próximos estudios podrían evaluar otras tecnologías y labores culturales, incluyendo la participación de mujeres agricultoras.

Palabras clave: equivalente metabólico, agricultura de montaña, equipo de labranza, arado.

ABSTRACT

The fragile food security along with the economic and environmental crisis affecting the most vulnerable populations in the High Andean zone of Peru, have highlighted the importance of small-scale agriculture. The objective of this study was to conduct a comparative analysis between mechanized and traditional tillage based on technical and economic variables. For this, energy expenditure of operators, performance of tillage equipment or tools, depth and mean weight

diameter (MWD) of tilled soil, and tillage times and costs per hectare were determined. Traditional tillage included the use of the bar and the yoke, while mechanized tillage was conducted with three models of motor cultivators. The plots were type 3, type 3-2, and type 2 terraces. The statistical design was completely randomized blocks. For the statistical analysis, an ANOVA and the LSD test were used. The results indicate that the types of tillage and terraces that require the lowest tillage times and costs are cultivators, the yoke, and type 2 terraces, benefiting rural economy and food security. The yoke and motor cultivators can be used in combination for plowing and loosening the soil, respectively. To improve the evaluation of technical variables (energy expenditure, depth and MWD of tilled soil), a longer study period and increased repetitions are required. Future studies might evaluate other technologies and agricultural practices, including the participation of female farmers.

Keywords: metabolic equivalent, mountain agriculture, tillage equipment, moldboard plow.

INTRODUCCIÓN

Los bajos ingresos económicos en la pequeña agricultura rural siguen representando un reto en el sector agrario. La escasa economía rural, por un lado, es causada por el limitado desempeño laboral y la costosa producción. Por otro, trae como efecto un incentivo a la emigración rural, la cual genera un descenso de la disponibilidad de la mano de obra local (Long et al., 2019; Ge et al., 2020). La agricultura altoandina no escapa a esta realidad (Cavagnoud y Aramburú, 2019; Donoso y Sarmiento, 2021), donde el trabajo agrícola es básicamente manual haciéndolo lento y pesado, además de costoso dada la poca oferta de mano

de obra disponible (Fig. 1). No obstante, existen evidencias que muestran que, a pesar de que este problema continúa, el contexto puede tornarse favorable para la tecnificación de la pequeña agricultura (Caulfield et al., 2019; Ge et al., 2020).

En los últimos años, se observa el interés de diferentes autores por la mecanización a pequeña escala para contrarrestar el bajo desempeño de trabajo y la costosa producción agrícola en zonas donde antes estuvo limitada por aspectos geográficos y/o dimensiones del terreno (Markussen, 2017; Ge et al., 2020; Liu et al., 2020; Belton et al., 2021; Zheng et al., 2022). La concepción de que solo puede mecanizarse a gran escala proviene desde la revolución verde y

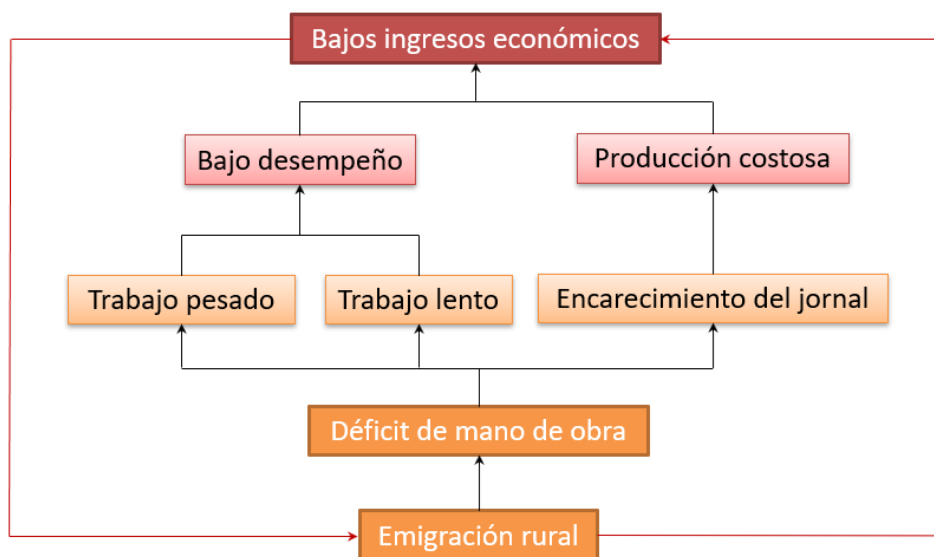


Fig. 1. Análisis de causa-efecto de la emigración y los bajos ingresos económicos en la pequeña agricultura altoandina en Perú.

Fig. 1. Cause-effect analysis of emigration and low economic income in High Andean small-scale agriculture in Perú.

aún persiste (Arita y Kimura, 2003; Pingali, 2007; Zhang B. et al., 2019; Paudel, Gartaula, et al., 2020; Nguyen-Van-Hung et al., 2022). Sin embargo, en países del Asia como Birmania, India, Vietnam y China la mecanización, desde áreas menores a 2 hectáreas, ha sido implementada con importantes resultados (Zhang X. et al., 2017; Liu et al., 2020; Belton et al., 2021; Vemireddy y Choudhary, 2021).

Además de compensar el encarecimiento de la mano de obra local, con la mecanización en la pequeña agricultura las labores se realizan de forma más rápida, a tiempo y menos pesadas, se reduce la pérdida de cosechas y mejora la capacidad de gestión de riesgo relacionada al clima (Chaya et al., 2018; Belton et al., 2021). Asimismo, promueve la participación de la mujer en la producción agrícola y contribuye al cierre de brecha de la inseguridad alimentaria (Paudel, Gartaula, et al., 2020; Vemireddy y Choudhary, 2021; Vemireddy y Pingali, 2021; Zheng et al., 2022). En cuanto a los tiempos de trabajo, con un motocultor se puede emplear un 30,5% de lo que demanda la tracción animal (Soe y Kyaw, 2019) y cubrir hasta un 75% de la demanda de mano de obra, así como, aumentar en 41% el rendimiento agrícola promedio (Dahlin y Rusinamhodzi, 2019). En la zona rural, los centros privados de alquiler de maquinaria representan un importante rol en el acceso a la tecnología para los pequeños productores (Zhang et al., 2017; Liu et al., 2020; Belton et al., 2021; Zheng X. et al., 2022).

De esta forma, lo que se buscó con este estudio fue determinar si la labranza mecanizada puede lograr un suelo con iguales o mejores características de profundidad y diámetro medio ponderado de suelo labrado, en comparación a la forma tradicional; así como, menos pesada en términos energéticos, más rápida y económica para el agricultor en terrazas de la agricultura altoandina.

MATERIALES Y MÉTODOS

Parcelas de evaluación

Lugar de estudio. Las pruebas se realizaron en terrazas o andenes que fueron rehabilitados, ubicados en la comunidad campesina Barrio Bajo de Matucana (11° 51,5'S y 76° 21,6'O, altitud de 3000 m.s.n.m.) en la provincia de Huarochirí, a tres horas por vía terrestre desde la ciudad de Lima, Perú.

Tipos de parcelas. Las parcelas se delimitaron en las plataformas de las terrazas o andenes, entre los cuales se identificaron tres tipos (tipo 3, tipo 3-2 y tipo 2). Estos se encontraban en descanso con cobertura vegetal invasiva llamada kikuyo

(*Pennisetum clandestinum*) o con rastrojos (Fig. 2). Las principales características de las terrazas tipo 3, fueron: textura franca arenosa (65% arena, 25% limo y 10% arcilla), alto en materia orgánica (14%) y kikuyo de 5 años; terrazas tipo 3-2: textura franca (46% arena, 35% limo y 19% arcilla), medio en materia orgánica (4%) y kikuyo de 15 años; mientras, terrazas tipo 2: textura franca (49% arena, 30% limo y 21% arcilla), medio en materia orgánica (2%) y con rastrojos de habas por 3 meses. Cada tipo de terraza constituyó un bloque dentro del diseño experimental. En cada bloque los tratamientos (equipos de labranza) fueron evaluados simultáneamente.

En las parcelas, el trabajo de la labranza con motocultores y la roturación con la barreta y la yunta fue realizado en sentido de las curvas de nivel, es decir, de forma longitudinal o paralelo al muro de la terraza. El mullido o segunda pasada con las herramientas tradicionales, al realizarse con picos, se efectuó sin un orden pre establecido; cada operario avanzó de forma aleatoria.

Las parcelas se ubicaron en terrenos con accesos irregulares, típicos de la zona altoandina. En las terrazas tipo 3 y tipo 3-2 se encontraron accesos amplios y muy escarpados con pendientes entre 105,2% y 4,1% y menos escarpada, y por partes estrecho, los del tipo 2 con pendientes entre 16,9% y 9,6%. Dadas estas características, como se verá más adelante, la cantidad de operarios que se requirió para el transporte de la maquinaria desde la carretera hasta la parcela fue 2 para los motocultores de 60 y 78 kg, cada uno, y entre 4 y 6 para el motocultor de 350 kg.

Diseño experimental

El diseño experimental fue de bloques completamente al azar (DBCA). Los bloques fueron tres: terrazas tipo 3, terrazas tipo 3-2 y terrazas tipo 2 (Fig. 2). Las parcelas delimitadas dentro de los bloques fueron entre 50 a 100 m², las más pequeñas correspondientes a la labranza con barreta. En cada bloque se aplicaron cinco tratamientos: FF500, FJ500, SF121, Yunta y Barreta. Los tres primeros mecanizados y los dos últimos tradicionales. Los modelos de motocultores, fueron: Honda FJ500 (3,05 kW, motor GX160, 60 kg, año 2011, China), Honda FF500 (3,3kW, motor GCV160, 78 kg, año 2013, Japón) y Shi Feng SF121 (14,7 kW, 350 kg, motor ZS110N, año 2011, China). Los motocultores FF500 (con dos ruedas traseras y una delantera) y FJ500 estuvieron implementados con azadas (conjunto rotativo) y SF121 con vertedera reversible y azadas; asimismo, la yunta con arado de vertedera reversible. Se utilizó el SF121 con vertedera en la primera pasada de las terrazas tipo 3 y tipo 3-2, pero en terrazas tipo 2 solo azadas. La yunta con arado se utilizó en la

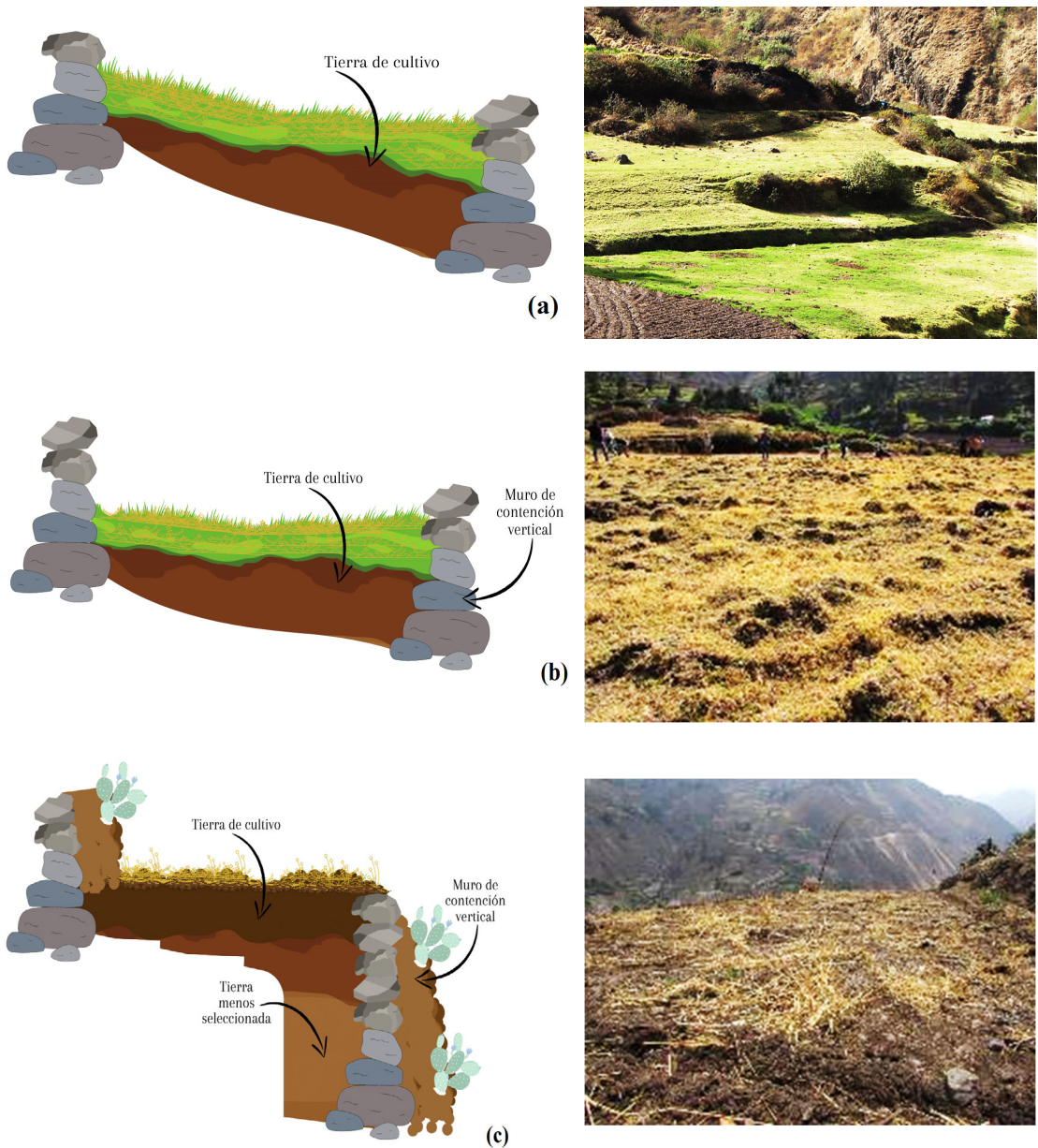


Fig. 2. Tipos de terrazas en la zona de estudio, de acuerdo a la tipología desarrollada por Kendall y Rodríguez (2009), tomando como principal clasificador la pendiente de las plataformas: (a) terraza tipo 3 con plataforma amplia y pendiente alta (25,9% a 18,1%); (b) terraza tipo 3-2 (intermedio, entre el tipo 3 y tipo 2) con plataforma amplia y pendiente media (15,7% a 6,8%); y (c) terraza tipo 2 con plataforma longitudinal y pendiente baja (11,2% a 2,0%).

Fig. 2. Types of terraces in the study area, based on the typology developed by Kendall and Rodríguez (2009), considering the slope of the platforms as the main classifier: (a) type 3 terrace with a wide platform and steep slope (25.9% to 18.1%); (b) type 3-2 terrace (intermediate, between type 3 and type 2) with a wide platform and moderate slope (15.7% to 6.8%); and (c) type 2 terrace with a longitudinal platform and low slope (11.2% to 2.0%).

primera pasada y picos en la segunda. De forma similar, la barreta en la roturación y picos en el mullido (Fig. 3).

Desempeño de los equipos

Tiempo de acceso. Las pruebas iniciaron con la toma de los tiempos de acceso de los equipos de labranza desde la carretera hasta las parcelas. Para ello, primero se definieron y midieron los tramos de acceso. Seguidamente, cada equipo de labranza ingresó por el camino delimitado y se registraron los tiempos que demoraron y la cantidad de operarios que se necesitaron en cada caso. Para el transporte de la maquinaria, debido al acceso escarpado, se necesitó dos operarios

para los motocultores que pesaron 60 y 78 kg y de cuatro a seis operarios para el de 350 kg.

Tiempo de trabajo. Se delimitaron las parcelas de prueba y, en seguida, se iniciaron los trabajos de labranza, registrándose los tiempos de trabajo en la 1^{era}, 2^{da}, 3^{ra} y/o 4^{ta} pasada, según corresponda por cada equipo de labranza (tradicional y mecanizado).

Consumo de combustible. Para medir el consumo de combustible de cada motocultor, antes de iniciar las actividades se llenaron los tanques y, al final, se midió cuánto se había consumido por diferencia de volumen

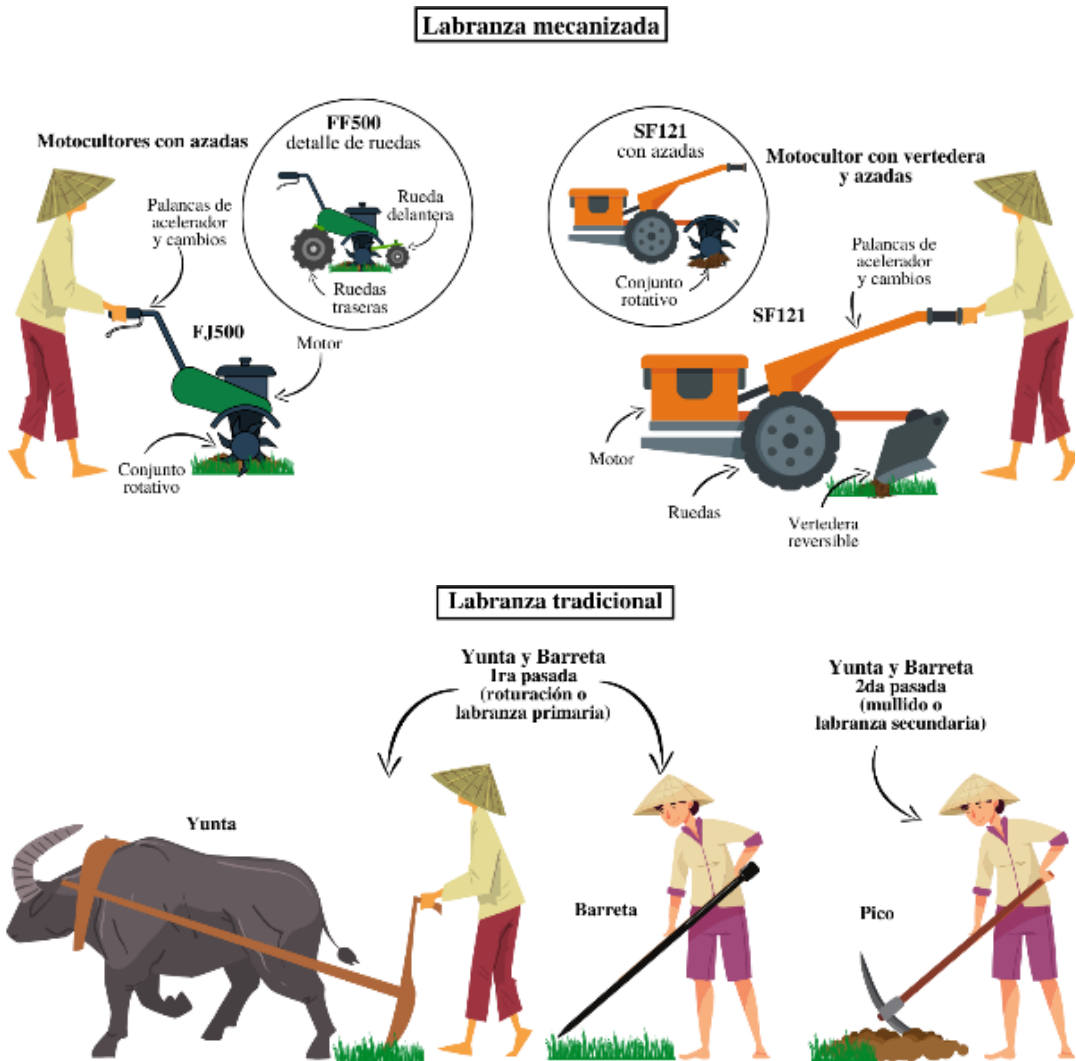


Fig. 3. Equipos y herramientas usados en la labranza mecanizada y tradicional.
 Fig. 3. Equipment and tools used in mechanized and traditional tillage.

completando el tanque nuevamente con una jarra graduada en milímetros. Para calcular el consumo de combustible por unidad de área, se utilizó la ecuación siguiente (Ec.1):

$$Co = \frac{V}{A} \dots (Ec.1)$$

Donde:

Co: consumo de combustible por unidad de área labrada (mL m⁻²)

V: volumen de combustible consumido por la maquinaria durante la labranza (mL)

A: superficie de la parcela labrada (m²)

Gasto energético de operarios

Para medir el gasto energético de los operadores en la labranza mecanizada y tradicional se utilizó el equivalente metabólico (MET), donde 1 MET es la cantidad de oxígeno consumido por una persona mientras está sentada en reposo y confort térmico (Gagge et al., 1941; Jetté et al., 1990; Wicks et al., 2011). El oxígeno consumido puede estimarse usando variables de la frecuencia cardíaca (HR) mediante la siguiente ecuación (Ec.2). El HRindex tiene la ventaja de no ser afectado por el tipo de prueba (campo o laboratorio) ni por variables como la edad, sexo, peso, estado físico y efectos por fármacos (Wicks et al., 2011; Colosio et al., 2020):

$$HR_{index} = \frac{HR_{actual}}{HR_{rest}} \dots (Ec.2)$$

Donde:

HR_{index}: frecuencia cardíaca índice.

HR_{rest}: pulso medido antes de las actividades, cuando el operario está en reposo.

HR_{actual}: pulso medido inmediatamente culminadas las actividades.

El MET es estimado con la siguiente ecuación (Ec. 3) desarrollada por Wicks et al. (2011):

$$MET = 6HR_{index} - 5 \dots (Ec.3)$$

A los operarios se les tomó el pulso con un pulsioxímetro de dedo antes de iniciar y durante el acceso (desde la carretera hacia la parcela) de los equipos de labranza y al término del trabajo de la labranza (en cada pasada). Los operarios fueron agricultores locales de edades entre 18 a 60 años.

Profundidad y diámetro de suelo labrado

Para determinar la profundidad de suelo labrado, en cada pasada, se midió hincando

el suelo en el centro de la parcela hasta la profundidad removida con una vara de madera con medida en centímetros. Por su parte, para determinar el tamaño de la partícula de suelo labrado con la barreta y la yunta, culminada la roturación y el mullido, en cada caso se tomaron muestras de suelo de forma aleatoria y se pasaron por un juego de tamices (16", 8", 4", 3", 2", 1 1/2", 1 1/4", 3/4", 3/8", No. 4, No. 16 y No. 30). De forma similar, en la labranza mecanizada, culminada cada pasada (1^{ra}, 2^{da}, 3^{ra} y/o 4^{ta}), se tomaron muestras de suelo que secaron al aire para tamizarlas en campo (Kemper y Chepil, 1965) y determinar el Diámetro Medio Ponderado (MWD, por sus siglas en inglés). Para calcular el MWD se usó la siguiente ecuación (Ec. 4) de Youker y McGuinness (1957):

$$MWD = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \cdot w_i \dots (Ec.4)$$

Donde:

MWD: diámetro medio ponderado en milímetros.

\bar{x}_i : diámetro medio (en milímetros) de cada fracción de partícula de suelo retenido en el tamiz n-ésimo.

w_i : porcentaje de suelo retenido en el tamiz n-ésimo.

Tiempos y costos de la labranza tradicional y mecanizada

Los tiempos y costos se determinaron por unidad de área labrada, es decir, días por hectárea (días ha⁻¹) y dólares por hectárea (US\$ ha⁻¹).

Tiempos. Para el cálculo de los tiempos de la labranza mecanizada se consideró el tiempo total, es decir, la suma de cada pasada (1^{ra}, 2^{da}, 3^{ra} y/o 4^{ta}) que realizó el motocultor en la parcela. De forma similar, la tradicional fue la suma de los tiempos de la primera (roturación) y segunda (mullido) pasada (Ec. 5):

$$T_{tt} = \frac{t_t}{A} \dots (Ec.5)$$

Donde:

T_{tt}: tiempo de trabajo total de la labranza por unidad de área (min m⁻²).

t_t: tiempo de todas las pasadas en total que realizó el equipo de labranza (min).

A: área de la parcela donde se realizó la prueba (m²).

Costos. Para el cálculo de los costos operativos de los motocultores se consideró el combustible y la depreciación de las máquinas (Ec. 6):

$$C_e = C_{cc} + C_d \cdot \frac{T_{tt}}{480} \dots (Ec. 6)$$

Donde:

C_e : costo operativo de los motocultores por unidad de área (US\$ m²).

C_{cc} : costo del combustible consumido (US\$ m²).

C_d : costo de la depreciación de la maquinaria (US\$ día⁻¹).

T_{tt} : tiempo de trabajo total de la labranza por unidad de área (min m²), se obtiene de (Ec. 5).

480: factor para convertir minutos (min) a días de jornal (un jornal dura 8 horas por día).

Además, el costo de la mano de obra se calculó con la (Ec. 7):

$$C_{mo} = C_j \cdot \frac{T_{tt}}{480} \dots (Ec. 7)$$

Donde:

C_{mo} : costo de la mano de obra por unidad de área (US\$ m²).

C_j : costo del jornal de 8 horas diarias (US\$ día⁻¹).

T_{tt} : tiempo de trabajo total de la labranza por unidad de área (min m²), se obtiene de (Ec. 5).

480: factor para convertir minutos (min) a días de jornal (un jornal dura 8 horas por día).

Finalmente, el cálculo de los costos de la labranza mecanizada se realizó con la siguiente ecuación (Ec. 8):

$$C_{tm} = 10000 \cdot (C_e + C_{mo}) \dots (Ec. 8)$$

Donde:

C_{tm} : costo total de la labranza mecanizada por unidad de área (US\$ ha⁻¹).

C_e : costo operativo de los motocultores por unidad de área (US\$ m²), se obtiene de (Ec. 6).

C_{mo} : costo de la mano de obra por unidad de área (US\$ m²), se obtiene de (Ec. 7).

10000: factor para convertir metros cuadrados (m²) a hectáreas (ha).

De forma similar, para la labranza tradicional con yunta se sumó el costo del alquiler de la yunta y el jornal del operario (Ec. 9):

$$C_{ty} = (C_y + C_j) \cdot \frac{125}{6} T_{tt} \dots (Ec. 9)$$

Donde:

C_{ty} : costo total de la labranza con yunta (US\$ ha⁻¹)

C_y : costo de alquiler de la yunta (US\$ día⁻¹)

C_j : costo del jornal de 8 horas diarias (US\$ día⁻¹).

T_{tt} : tiempo de trabajo total de la labranza por unidad de área, se obtiene de (Ec. 5).

125/6: factor para convertir minutos por metro cuadrado (min m²) a días por hectárea (día ha⁻¹), donde cada día de jornal son de 8 horas diarias.

Asimismo, para la barreta, solo fue el costo de la mano de obra (Ec. 7).

Análisis estadístico

Se analizaron estadísticamente los datos observados del gasto energético de los operarios durante la primera pasada, de la profundidad y el MWD de suelo labrado y de los tiempos y costos por hectárea, previo a la verificación de los supuestos del DBCA siguiendo las recomendaciones de Kuehl (2001). La normalidad se verificó con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Seguidamente, se compararon los tratamientos en cada caso mediante el ANOVA. Cuando los efectos del tratamiento resultaron significativos se aplicó la prueba de rangos múltiples de diferencia mínima significativa de Fisher (método DMS) para comparar las medias de los tratamientos. Para el análisis se utilizaron los programas MS Excel 2010 y Rstudio versión 4.2.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados estadísticos generales

En los tres tipos de terrazas o bloques, la normalidad en los residuales y la linealidad de la ecuación, para cada variable se detalla a continuación. Solo para las variables de tiempo y costo por hectárea la diferencia de las medias de los bloques resultó significativa con un p-valor de 0,0319 y 0,0194, respectivamente. Para estas mismas variables se obtuvo que solo la terraza tipo 2, en comparación al tipo 3-2, resultó significativamente diferente (p=0,05). Es decir, las características de la terraza tipo 2 son más favorables para obtener los menores tiempos de trabajo y costos por hectárea, respecto al tipo 3-2. En los otros casos, en comparación dos a dos, no se presentó diferencias significativas.

Desempeño de los equipos

A continuación, se describen los resultados relacionados con el acceso de los equipos hacia las parcelas, los tiempos de trabajo (min), las superficies de trabajo (m²), el combustible consumido por la maquinaria (mL), las que luego fueron transformadas a días, hectáreas y como parte de los costos, respectivamente.

Tiempo de acceso. Los tiempos más cortos en los accesos se registraron con los equipos de

labranza tradicional ya que los operarios solo necesitaron caminar transportando la barreta, así como dirigir a los toros y a las acémilas cargando el arado de la yunta hacia las parcelas. De esta forma, por cada 100 metros lineales los operarios que transportaron los equipos tradicionales tardaron cerca de 100 seg. Mientras, entre los equipos mecanizados, los motocultores más livianos, en especial FJ500, son los que menos tiempo demoraron con alrededor de 350 seg por cada 100 metros lineales en terrazas tipo 3, 150 seg en terrazas tipo 3-2 y 130 seg en terrazas tipo 2. Cabe resaltar que se observaron demoras cuando se tuvieron que atravesar por accesos estrechos y de alta pendiente.

Tiempo de trabajo. Los menores tiempos de trabajo y cantidad de pasadas se registraron en las terrazas tipo 2, donde para un área de 100 m² la labranza mecanizada contabilizó 37,4 min en promedio, 35,0 min la yunta y 308,5 min la labranza con barreta. Los mayores tiempos de trabajo se obtuvieron en las terrazas tipo 3-2 donde para 100 m² los motocultores FF500, FJ500 y SF121 trabajaron 79,6, 84,3 y 210,0 min, respectivamente; mientras 308,3 y 760,3 la yunta y barreta, respectivamente. Asimismo, resaltó la rapidez de FF500 en los tres tipos de terrazas evaluados, siendo en los del tipo 2 donde anotó el menor tiempo de trabajo con 30,9 min para 100 m². La cantidad de pasadas que realizaron los motocultores llegó hasta cuatro en las terrazas tipo 3 con SF121 y con FF500 en las terrazas tipo 3-2.

Consumo de combustible. Los cálculos (Ec.1) arrojaron que el motocultor con menor resultado lo obtuvo FJ500 con 3,6 mL m⁻² en las terrazas tipo 2. Igualmente, en terrazas tipo 3-2 fueron FF500 con 8,4 mL m⁻² y FJ500 con 6,0 mL m⁻². Además, en terrazas tipo 3 con 8,0, 13,1 y 8,6 mL m⁻² para FF500, FJ500 y SF121, respectivamente. El consumo de combustible, de acuerdo a Weise (1993), puede ser excesivo cuando la velocidad de los equipos de labranza pasa el límite necesario para obtener un diámetro medio ponderado (MWD) adecuado. Bajo esta premisa, si bien FJ500 es el que habría consumido menos combustible, fue en la terraza tipo 2 donde obtuvo menor consumo de combustible, mínimo MWD y baja velocidad con 6,0 mL m⁻², 8,0 mm y 1,17 m² min⁻¹, respectivamente. Mientras que, SF121 en terrazas tipo 2 con 3,9 mL m⁻², 8,9 mm y 3,02 m² min⁻¹, en ese mismo orden, habría alcanzado el límite de velocidad de trabajo.

Gasto energético de los operarios

Gasto energético en el acceso. Con los registros de pulso tomados a los operarios durante el acceso

se calcularon la frecuencia cardíaca índice (Ec.2) y el equivalente metabólico o MET (Ec.3).

Los operarios con herramientas manuales se desplazaron hacia la parcela caminando, obteniéndose valores en promedio de 1,52 MET. Los operarios que transportaron el motocultor FF500 demandaron en promedio 2,37 MET y el FJ500 2,04 MET. Ambas maquinarias de 60 y 78 kg necesitaron de dos operarios para el traslado a través de accesos escarpados desde la carretera hacia la parcela. Mientras, el SF121 de 350 kg requirió entre cuatro y seis operarios quienes en promedio demandaron 1,86 MET. Estos resultados indicarían que fue una actividad de nivel suave (Jetté et al., 1990) comparable con actividades de oficina como ordenar documentos estando sentado o parado. Por otro lado, a la velocidad que los operarios con herramientas manuales se transportaron (64,52 m min⁻¹) correspondería un gasto energético de 3,55 MET correspondiente a ejercicios de pararse y sentarse para personas no agricultoras (Caballero et al., 2019).

Gasto energético en la labranza. Con los registros de pulso tomados a los operarios antes de iniciar y al término de cada pasada de labranza, se realizaron los cálculos de forma similar al apartado anterior. En la primera pasada de arado, que es cuando se invierte más energía, en la terraza tipo 3 los cálculos (Ec.3) arrojaron que la yunta con 5,33 MET y FJ500 con 5,23 MET fueron mayores. En la terraza tipo 3-2 y terraza tipo 2 fue con la barreta que se contabilizó más energía en los operarios con 4,96 MET y 5,88 MET, respectivamente. Por otro lado, con el motocultor FF500 menos gasto energético demandó del operario en terrazas tipo 3 con 2,35 MET, en terrazas tipo 3-2 fue el SF121 con 1,2 MET; mientras que en terrazas tipo 2 fue el FJ500 con 2,52 MET.

Los valores de mayor gasto energético calculados, indicarían que para los operarios la labranza con equipos mecanizados y tradicionales sería una actividad de nivel moderado (4,0 a 5,9 MET) (Jetté et al., 1990), comparable a caminar cargando una masa de 3 kg a 70 m min⁻¹ por personas no agricultoras (Caballero et al., 2019). Mientras, para los menores gastos energéticos habría resultado una actividad ligera para los operarios (Jetté et al., 1990).

Entretanto, en la segunda pasada los equipos que habrían demandado más energía de los operarios, en las terrazas tipo 3, fue FJ500 con 5,77 MET y, en terrazas tipo 3-2, los picos (segunda pasada del tratamiento barreta) con 4,00 MET. Asimismo, los cálculos muestran que en terrazas tipo 3 y tipo 3-2, similar a la primera pasada, fue FF500 el cual demandó menos energía con 2,29 MET y SF121 con 1,27 MET. En este caso, como

en la primera pasada, el gasto energético de los operarios habría sido correspondiente a trabajos moderados y ligeros, respectivamente. En terrazas tipo 2 solo se realizó una segunda pasada en las parcelas donde se labraron con SF121, yunta y barreta, obteniéndose prácticamente un empate de gasto energético con 2,53 MET en promedio, es decir, trabajo ligero.

Para los valores del gasto energético de la primera pasada se calcularon los residuales y se verificó que los datos observados se ajustan a la ecuación lineal de acuerdo el diseño estadístico utilizado; sin embargo no se encontraron diferencias del gasto energético demandado entre los operarios de la labranza mecanizada y tradicional evaluados en los tres tipos de terrazas.

Evaluaciones sobre gasto energético realizadas por Coelho-Ravagnani et al. (2013) que compararon dos grupos de sesiones de ejercicios (mujeres y varones entre 40 a 60 años medianamente entrenados), no obtuvieron diferencias significativas. Por su parte, Fuentes García et al. (2009), al someter a diferentes ejercicios a un grupo control y experimental (pacientes de rehabilitación cardiaca) obtuvo resultados estadísticamente significativos luego de casi 3 meses de entrenamiento de tenis. Asimismo, Kanishchev et al. (2021), al someter a diferentes ejercicios a futbolistas jóvenes (10 a 12 años de edad), no encontraron diferencias significativas en indicadores de rendimiento, grado de ejercicio y resistencia mental, sino hasta después de 4 meses de entrenamiento. Los casos con diferencias

significativas se estarían dando luego de un tiempo de actividades intensas (entrenamiento). En ese supuesto, se podría comprender el bajo a moderado gasto energético de la labranza mecanizada y tradicional para los agricultores locales (operarios), que resultaron en diferencias no significativas.

Profundidad y diámetro de suelo labrado

Se puede observar en la Tabla 1 que los motocultores necesitaron entre 1 a 4 pasadas para labrar el suelo, mientras que con la yunta y barreta solo dos: roturación (1^{era} pasada) y mullido (2^{da} pasada). De esta forma, en la roturación se generaron grandes terrones de suelo que sobresalieron por encima del nivel inicial, los que luego fueron desmenuzados en el mullido reduciendo el tamaño de los terrones y volumen del suelo y, por ende, su profundidad al final de la labranza. De forma similar, para el caso de la parcela labrada con el motocultor SF121 de 350 kg hay una reducción de la profundidad que podría estar ocasionada por la compactación debido a su elevado peso (Grandy y Robertson, 2006; Munkholm, 2011).

Al finalizar la labranza tradicional (2^{da} pasada) se alcanzó una profundidad de suelo entre 18,7 a 29,5 cm; mientras, entre los motocultores FJ500 y SF121, se consiguieron mayores profundidades, de 22,2 y 20,5 cm, respectivamente. Asimismo, estas maquinarias lograron mayor profundidad (cm) y menor MWD (mm) en terrazas tipo 3-2 (17,3 cm y 8 mm) y tipo 2 (23,1 cm y 8,9 mm), en

Tabla 1. Profundidad de suelo labrado (cm) bajo sistemas de labranza mecanizada y tradicional en diferentes tipos de terrazas.

Table 1. Depth of tilled soil (cm) under mechanized and traditional tillage systems in different types of terraces.

	FF500	FJ500	SF121	Yunta	Barreta
Pasada	Terrazas tipo 3				
1ra	10,0	14,0	nd	26,0	30,4
2da	10,7	20,8	12,3	20,2	29,5
3ra	12,8				
	Terrazas tipo 3-2				
1ra	4,2	4,5	17,7	19,7	26,2
2da	9,3	15,3	17,0	18,7	21,3
3ra	12,5	17,3			
4ta	16,3				
	Terrazas tipo 2				
1ra	13,5	22,2	18,9	24,8	24,3
2da	15,8		20,5	21,5	18,0

nd: No disponible.

ese orden. Al respecto, Grandy y Robertson (2006) realizando pruebas de labranza con vertedera y disco a una profundidad entre 7 a 20 cm obtuvieron un MWD próximo a 2 mm, diámetros menores a los obtenidos en este estudio.

En cuanto al diámetro medio ponderado (MWD) obtenidos con la labranza tradicional y mecanizada, fue entre 8,5 a 13,3 mm y 7,5 a 13,1 mm, respectivamente (Tabla 2). Es decir, los motocultores podrían alcanzar diámetros de suelo similares a la labranza tradicional. De acuerdo a Munkholm (2011), diámetros de agregados menores que 1 mm no son deseados porque el suelo es susceptible a la erosión y puede impedir la emergencia de la semilla. Por su parte Kemper y Chepil (1965), acotaron que el MWD podría estar subestimado si una parte importante de los agregados son menores que 4,76 mm. En ese sentido, de acuerdo a los valores observados, el tamizaje se habría realizado con los cuidados necesarios y tanto los equipos mecanizados y tradicionales estarían logrando una apropiada cama de semillas.

Cabe añadir que, además de preparar el suelo para recibir a la semilla, la labranza dota al suelo de las características físicas necesarias para que almacene el agua, así como mejores condiciones para el drenaje en especial en terrenos inclinados ante lluvias intensas (Yankov y Drumeva, 2021).

Para la profundidad de suelo labrado y el MWD, al igual que con el gasto energético, se calcularon los residuales y se verificó que los datos observados se ajustan a la ecuación lineal

del diseño estadístico utilizado; a continuación, no se encontraron diferencias significativas en ambas variables en los equipos evaluados en los tres tipos de terrazas.

En las pruebas de labranza (arado de vertedera y disco), realizadas según lo descrito por Grandy y Robertson (2006), se encontraron diferencias significativas en el MWD a profundidades de 0 a 7 y 7 a 20 cm. Por su parte, Yankov y Drumeva (2021), si bien encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de labranza (arado de cincel, grada de disco y labranza cero), estas no fueron significativas entre el tipo de labranza y profundidad; los autores conjeturaron que ello podría deberse a la poca profundidad examinada (26 cm). De esta forma, en relación a la labranza mecanizada y tradicional evaluadas en el presente estudio, se podría interpretar que ambas variables no arrojaron diferencias significativas, debido a la poca profundidad y cantidad de repeticiones analizadas.

Tiempos y costos de la labranza tradicional y mecanizada

Se puede observar en la Tabla 3 que en las terrazas tipo 3-2 los tiempos (Ec.5) y costos resultaron más elevados. También, entre los motocultores, FF500 trabajó más rápido en todos los casos y en las terrazas tipo 3-2 fue el menos costoso (Ec.8). En terrazas tipo 2, FF500 resultó un 6,8% más rápido que SF121; además, estos mismos equipos fueron 11,5% y 23,7% más económicos que la yunta (Ec.9), en ese orden. En

Tabla 2. Diámetro medio ponderado (MWD) de agregados de suelo labrado (mm) bajo sistemas de labranza mecanizada y tradicional en diferentes tipos de terrazas.

Table 2. Mean weight diameter (MWD) of tilled soil aggregates (mm) under mechanized and traditional tillage systems in different types of terraces.

	FF500	FJ500	SF121	Yunta	Barreta
Pasada					
	Terrazas tipo 3				
1ra	6,7	12,2	10,2	163,6	116,1
2da	9,0	12,9	8,5	11,1	12,3
3ra	11,7		7,5	-	-
	Terrazas tipo 3-2				
1ra	16,9	11,7	45,5	106,3	116,1
2da	9,3	23,4	9,4*	13,3	12,3
3ra	9,1	8,0			
4ta	11,4				
	Terrazas tipo 2				
1ra	14,0	14,6	10,9	8,9	10,5
2da	13,1		8,9	8,5	11,0

* Valor estimado.

Tabla 3. Días de trabajo y costo total para labrar una hectárea bajo sistemas de labranza mecanizada y tradicional en diferentes tipos de terrazas.
Table 3. Days of work and total cost to till one hectare under mechanized and traditional tillage systems in different types of terraces.

	FF500	FJ500	SF121	Yunta	Barreta
Días de trabajo por hectárea (días/ha)					
Terrazas tipo 3					
8,5	11,0	11,6	57,2	124,8	
Terrazas tipo 3-2					
16,6	17,6	43,8	64,2	158,4	
Terrazas tipo 2					
6,4	10,0	6,9	7,3	64,3	
Costo total por hectárea (US\$/ha)					
Terrazas tipo 3					
208,6	300,1	249,8	756,1	1256,1	
Terrazas tipo 3-2					
326,5	310,9	931,7	763,8	1594,4	
Terrazas tipo 2					
162,3	208,7	140,0	183,5	646,7	

todos los casos la labranza con bareta obtuvo los costos por hectárea (Ec.7) más altos. Asimismo, se observa que cuando el terreno ha estado en descanso con grama muy desarrollada, como en las terrazas tipo 3-2, se necesita de mayor tiempo de trabajo y tiene un costo más elevado.

Como se mencionó en la sección de consumo de combustible, existe un límite de velocidad máxima de labranza que pasado ese valor no se logra mejores características físicas de suelo como es el MWD y, dada las especificaciones técnicas del implemento, hay un límite de profundidad de labranza. Considerando la reflexión anterior, se tendría que determinar en función a las necesidades técnicas el equipo de labranza que resulte más económico y rápido.

La reducción de tiempos y costos, así como la disminución de esfuerzo en labores que son realizadas principalmente por agricultores varones, también beneficiaría a la mujer agricultora en la medida que estas tecnologías incentiven más su participación en las labores agrícolas, lo que a su vez mejoraría la seguridad alimentaria de las familias rurales. Asimismo, se encuentran antecedentes del impacto positivo que los servicios de mecanización pueden traer a las familias de pequeños agricultores en las zonas montañosas como la altoandina (Vemireddy y Choudhary, 2021; Zheng et al., 2022).

No obstante, si bien encontramos autores que muestran que ni el tamaño ni la pendiente del terreno han sido una limitante en la mecanización

de la pequeña agricultura con beneficios para el pequeño productor del Asia y África, también existen otros enfoques como la de Zhang et al. (2017), quienes señalan que con el tiempo será inevitable la concentración de parcelas para que esta sea competitiva ya que el costo de oportunidad de las nuevas generaciones de agricultores se volverá más caro. Asimismo, Paudel et al. (2020) indican que los motocultores con azadas no generan beneficios al pequeño agricultor, por lo que sugieren tecnologías de labranza más sostenibles.

Las variables de tiempos ($R^2= 0,8981$) y costos por hectárea ($R^2= 0,855$), resultaron estadísticamente significativas tanto en los tratamientos y bloques. Asimismo, en la comparación dos a dos, se determinó que todos los tratamientos comparados con la labranza con barreta fueron significativos ($p=0,05$); es decir, con los equipos mecanizados y la yunta, la labranza se realiza en menores tiempos y costos por hectárea, respecto a la barreta. De la misma forma, en la comparación dos a dos, solo la terraza tipo 2 en comparación al tipo 3-2 resultó significativo ($p=0,05$). Es decir, las características de la terraza tipo 2 son más favorables para obtener los menores tiempos de trabajo y costos por hectárea respecto al tipo 3-2.

En diversos estudios se analizan la labranza convencional, mínima y cero. No todas coinciden en que un tipo de labranza en específico sea el más económico u obtenga mejores rendimientos.

Inclusive, algunas sugieren formas combinadas de labranza. Otras, dejan en claro sus limitaciones para cada caso, que también depende de factores locales como por ejemplo el tipo de suelo y cultivo (Chaya et al., 2018; Calcante y Oberti, 2019; Panasiewicz et al., 2020; Paudel, Krishna, et al., 2020; Mihretie et al., 2021; Yankov y Drumeva, 2021). De esta forma, podemos señalar que, bajo las condiciones, objetivos y limitaciones del estudio que presentamos, entre los equipos evaluados, la barreta resultó ser la labranza significativamente más costosa y lenta, en comparación con los motocultores y la yunta. Estas últimas pueden ser combinadas en la labranza.

Finalmente, el escenario del presente estudio que más se asemeja al contexto evaluado por Dahlin y Rusinamhodzi (2019) – de cuatro escenarios de trabajo (mano de obra) y rendimientos de cultivos – es el de bajo rendimiento y alta demanda de mano de obra, en el cual se requerirían mejorar la gestión de cultivos y la inversión para compensar la mano de obra que podría ser cubierto hasta en 75% con la adopción de tecnología. Concluyen que lo más probable es que los pequeños agricultores adopten tecnología mecanizada para reducir el trabajo pesado y el déficit de mano de obra local.

CONCLUSIONES

Los tiempos y costos de labranza por hectárea resultaron significativas, lo que implica que la labranza con equipos mecanizados y la yunta resultan la forma más rápida y económica para la pequeña agricultura, en comparación con la forma manual que se realiza con la barreta. Las terrazas tipo 3, tipo 3-2 y tipo 2, en los tiempos y costos por hectárea resultaron significativos, lo que significa que el pequeño agricultor no invierte el mismo tiempo y costo en los trabajos de labranza en cada una de ellas, sino que es más rápido y económico labrar el suelo de una terraza tipo 2 respecto al tipo 3-2.

Las variables técnicas resultaron no significativas, de lo que se deduciría que, para una mejor evaluación del gasto energético es necesario realizar actividades que vayan aumentando la demanda de esfuerzo en forma progresiva durante un periodo de al menos tres meses. También, respecto a la profundidad y MWD del suelo labrado será necesario incluir más repeticiones para encontrar diferencias y determinar qué tipo de labranza y terrazas son las más favorables.

Las ventajas determinadas en los equipos de labranza y tipo de terrazas sobre los menores costos y tiempos, beneficiarán a la economía rural y a la seguridad alimentaria de la familia agricultora. Los motocultores y la yunta pueden ser utilizados de forma combinada o trabajar de

forma independiente en la labranza procurando mejorar las terrazas de acuerdo a las características del tipo 2 o cultivar preferentemente en este tipo de terrazas.

Para facilitar la adopción de la mecanización en la zona altoandina a mediano plazo es importante que los accesos de la carretera hacia las chacras sean mejorados, ya que facilitará el transporte de pequeña maquinaria y equipos para las labores agrícolas. Una alternativa que ha funcionado, y que necesita ser analizada, es la instalación de vías con monorraíles, que son una tecnología mecanizada para transporte de personas y cargas en áreas montañosas, lo cual podría evaluarse para su implementación.

Por ello, se recomienda que en siguientes estudios se puedan realizar pruebas en las demás actividades culturales, con otros implementos, incluyendo tecnologías de conservación. Además, para el diseño experimental aumentar las repeticiones de los tratamientos. Igualmente, incluir el involucramiento de la mujer rural durante la formulación de diseños experimentales y de tecnologías en maquinarias e implementos que cubran sus necesidades.

Como recomendación final, realizar estudios sobre el funcionamiento de servicios de mecanización para la pequeña agricultura, donde además del aspecto económico, técnico y comercial, se incluya diseños de políticas para su viabilidad y sostenibilidad.

AGRADECIMIENTOS

Las pruebas fueron financiadas por el Programa de Desarrollo Productivo Agrario Rural – AGRO RURAL del Ministerio de Agricultura y Riego del Perú y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón- JICA.

LITERATURA CITADA

- Arita, H., and K. Kimura. 2003. Land consolidation of paddy field. Association of Agriculture & Forestry Statistics, Japan.
- Belton, B., M.T. Win, X. Zhang, and M. Filipski. 2021. The rapid rise of agricultural mechanization in Myanmar. *Food Policy* 101:102095. doi: 10.1016/J.FOODPOL.2021.102095
- Caballero, Y., T.J. Ando, S. Nakae, C. Usui, T. Aoyama, M. Nakanishi, et al. 2019. Simple Prediction of Metabolic Equivalents of Daily Activities Using Heart Rate Monitor without Calibration of Individuals. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 17(1):216. doi: 10.3390/ijerph17010216

- Calcante, A., and R. Oberti. 2019. A Technical-Economic Comparison between Conventional Tillage and Conservative Techniques in Paddy-Rice Production Practice in Northern Italy. *Agronomy* 9(12):886. doi: 10.3390/agronomy9120886
- Caulfield, M., J. Bouniol, S.J. Fonte, and A. Kessler. 2019. How rural out-migrations drive changes to farm and land management: A case study from the rural Andes. *Land Use Policy* 81:594–603. doi: 10.1016/j.landusepol.2018.11.030
- Cavagnoud, R., and C.E. Aramburú. 2019. Livelihoods and coping strategies based on migration for families affected by environmental deteriorations in high Andean communities «There's no life here; that's why they went away.». *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente* 4:47–74. doi: 10.18800/KAWSAYPACHA.201902.003
- Chaya, W., B. Bunnag, and S.H. Gheewala. 2018. Adoption, Cost and Livelihood Impact of Machinery Services Used in Small-Scale Sugarcane Production in Thailand. *Sugar Tech.* 21(4):543–556. doi: 10.1007/S12355-018-0651-X
- Coelho-Ravagnani, C. de F., F.C. Lemos Melo, F.C.P. Ravagnani, F.H. Paganini Burini, and R.C. Burini. 2013. Estimativa do equivalente metabólico (MET) de um protocolo de exercícios físicos baseada na calorimetria indireta. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte* 19(2):134–138. doi: 10.1590/S1517-86922013000200013
- Colosio, A. L., M. Lievens, S. Pogliaghi, J.G. Bourgois, and J. Boone. 2020. Heart rate-index estimates aerobic metabolism in professional soccer players. *Journal of Science and Medicine in Sport* 23(12):1208–1214. doi: 10.1016/j.jsams.2020.04.015
- Dahlin, A. S., and L. Rusinamhodzi. 2019. Yield and labor relations of sustainable intensification options for smallholder farmers in sub-Saharan Africa. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development* 39(3):1–18. doi: 10.1007/S13593-019-0575-1/FIGURES/7
- Donoso, M. E., and F.O. Sarmiento. 2021. Changing mountain farmscapes: vulnerability and migration drivers in the Paute River watershed, Southern Ecuador. *Journal of Mountain Science* 18(7):1902–1919. doi: 10.1007/S11629-020-6127-Y
- Fuentes García, J. P., J. Gómez Barrado, J. Barca Durán, C. Díaz Casasola, A. Martín Castellanos and V.M. Abelló Giraldo. 2009. A cardiac rehabilitation program in a tennis training session. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte* 9(36):454–465. Available at <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista36/artcardiaca126.pdf>. (Accessed 12 October 2022)
- Gage, A. P., A.C. Burton and H.C. Bazett. 1941. A Practical System of Units for the Description of the Heat Exchange of Man with His Environment. *Science* 94(2445):428–430. doi: 10.1126/science.94.2445.428
- Ge, D., H. Long, W. Qiao, Z. Wang, D. Sun, and R. Yang. 2020. Effects of rural-urban migration on agricultural transformation: A case of Yucheng City, China. *Journal of Rural Studies* 76: 85–95. doi: 10.1016/j.jrurstud.2020.04.010
- Grandy, A. S., and G.P. Robertson. 2006. Aggregation and Organic Matter Protection Following Tillage of a Previously Uncultivated Soil. *Soil Science Society of America Journal*. 70(4):1398–1406. doi: 10.2136/SSSAJ2005.0313
- Jetté, M., K. Sidney, and G. Blümchen. 1990. Metabolic equivalents (METS) in exercise testing, exercise prescription, and evaluation of functional capacity. *Clinical Cardiology* 13(8): 555–565. doi: 10.1002/clc.4960130809
- Kanishchev, O. G., Zh.L. Kozina, V.M. Grynyova, and V.V. Masych. 2021. The technique of using balls of different weights and diameters for the interrelated development of physical qualities, accuracy of strikes and psychophysiological capabilities of young football players. *Health, Sport, Rehabilitation* 7(1):28–41. doi: 10.34142/HSR.2020.07.01.03
- Kemper, W. D., and W.S. Chepil. 1965. Size Distribution of Aggregates. p. 499–510. In C.A. Black (Ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling*. John Wiley & Sons, Ltd. doi: [org/10.2134/agronmonogr9.1.c39](https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.1.c39)
- Kendall, A., y A. Rodríguez. 2009. Desarrollo y perspectivas de los sistemas de andenería en los andes centrales del Perú (Primera edición). Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de Las Casas, Instituto Francés de Estudios Andinos, Perú.
- Kuehl, R. O. 2001. Diseño de experimentos (2da ed.). International Thomson Editores, México.

- Y. Liu, C.B. Barrett, T. Pham, and W. Violette. 2020. The intertemporal evolution of agriculture and labor over a rapid structural transformation: Lessons from Vietnam. *Food Policy* 94:101913. doi: 10.1016/J.FOODPOL.2020.101913
- Long, H., Y. Zhang, and S. Tu. 2019. Rural vitalization in China: A perspective of land consolidation. *Journal of Geographical Sciences* 29(4):517–530. doi: 10.1007/S11442-019-1599-9
- Markussen, T. 2017. Land Issues: Markets, Property Rights, and Investment. p. 117–138. In F. Tarp (Ed.) *Grow, Structural Transformation, and Rural Change in Viet Nam*. Oxford University Press. doi: 10.1093/acprof:oso/9780198796961.003.0006
- Mihretie, F. A., A. Tsunekawa, N. Haregeweyn, E. Adgo, M. Tsubo, T. Masunaga, et al. 2021. Tillage and sowing options for enhancing productivity and profitability of teff in a sub-tropical highland environment. *Field Crops Research* 263:108050. doi: 10.1016/J.FCR.2020.108050
- Munkholm, L. J. 2011. Soil friability: A review of the concept, assessment and effects of soil properties and management. *Geoderma* 167–168:236–246. doi: 10.1016/j.geoderma.2011.08.005
- Nguyen-Van-Hung, C. Balingbing, J. Sandro, S. Khandai, H. Chea, T. Songmethakrit, et al. 2022. Precision land leveling for sustainable rice production: case studies in Cambodia, Thailand, Philippines, Vietnam, and India. *Precision Agriculture* 23(5):1633–1652. doi: 10.1007/S11119-022-09900-8/TABLES/6
- Panasiewicz, K., A. Faligowska, G. Szymanska, J. Szukała, K. Ratajczak, and H. Sulewska. 2020. The effect of various tillage systems on productivity of narrow-leaved lupin-winter wheat-winter triticale-winter barley rotation. *Agronomy* 10(2):304. doi: 10.3390/AGRONOMY10020304
- Paudel, G. P., H. Gartaula, D.B. Rahut, and P. Craufurd. 2020. Gender differentiated small-scale farm mechanization in Nepal hills: An application of exogenous switching treatment regression. *Technology in Society* 61:101250. doi: 10.1016/J.TECHSOC.2020.101250
- Paudel, G. P., V.V. Krishna, and A.J. McDonald. 2020. Apparent Gains, Hidden Costs: Examining Adoption Drivers, Yield, and Profitability Outcomes of Rotavator Tillage in Wheat Systems in Nepal. *Journal of Agricultural Economics* 71(1):199–218. doi: 10.1111/1477-9552.12333
- Pingali, P. 2007. Chapter 54 Agricultural Mechanization: Adoption Patterns and Economic Impact. *Handbook of Agricultural Economics* 3:2779–2805. doi: 10.1016/S1574-0072(06)03054-4
- Soe, K. W., and S. Kyaw. 2019. Agricultural Mechanization Southern Shan State. In *Food Security Policy Project Research Highlights, Myanmar-16*. doi: 10.22004/AG.ECON.291885
- Vemireddy, V., and A. Choudhary. 2021. A systematic review of labor-saving technologies: Implications for women in agriculture. *Global Food Security* 29:100541. doi: 10.1016/J.GFS.2021.100541
- Vemireddy, V., and P.L. Pingali. 2021. Seasonal time trade-offs and nutrition outcomes for women in agriculture: Evidence from rural India. *Food Policy* 101:102074. doi: 10.1016/J.FOODPOL.2021.102074
- Weise, G. 1993. Active and Passive Elements of a Combined Tillage Machine: Interaction, Draught Requirement and Energy Consumption. *Journal of Agricultural Engineering Research* 56(4):287–299. doi: 10.1006/JAER.1993.1080
- Wicks, J. R., N.B. Oldridge, L.K. Nielsen, and C.E. Vickers. 2011. HR Index-A Simple Method for the Prediction of Oxygen Uptake. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 43(10): 2005–2012. doi: 10.1249/MSS.0b013e318217276e
- Yankov, P., and M. Drumeva. 2021. Effect of different types of soil tillage for sunflower on some soil physical characteristics. Part I: Soil moisture. *Helia* 44(74):59–72. doi: 10.1515/HELIA-2020-0012
- Youker, R. E., and J.L. McGuinness. 1957. A Short Method of Obtaining Mean Weight-Diameter Values of Aggregate Analyses of Soils. *Soil Science* 83(4):291–294. doi: 10.1097/00010694-195704000-00004
- Zhang, B., W. Niu, L. Ma, X. Zuo, X. Kong, H. Chen, et al. 2019. A company-dominated pattern of land consolidation to solve land fragmentation problem and its effectiveness evaluation: A case study in a hilly region of Guangxi Autonomous Region, Southwest China. *Land Use Policy*. 88. doi: 10.1016/J.LANDUSEPOL.2019.104115
- Zhang, X., J. Yang, and R. Thomas. 2017. Mechanization outsourcing clusters and division of labor in Chinese agriculture. *China Economic Review* 43:184–195. doi: 10.1016/J.CHIECO.2017.01.012
- Zheng, H., W. Ma, Y. Guo, and X. Zhou. 2022. Interactive relationship between non-farm employment and mechanization service expenditure in rural China. *China Agricultural Economic Review* 14(1):84–105. doi: 10.1108/CAER-10-2020-0251