

Diseño, construcción y evaluación de un equipo renovador de praderas para tracción animal

V. H. Borda¹, S. N. Ipaz¹, O. Chaparro², L. M. Ramírez²

COMPENDIO

Se diseñó, construyó y evaluó en campo un equipo renovador de praderas para tracción animal que respondiera a las exigencias de las condiciones específicas de los agroecosistemas y terrenos en laderas de una región del trópico alto andino de Colombia (Barragán, Tuluá, Valle del Cauca). Este equipo realiza simultáneamente las labores de escarificación, siembra y fertilización en praderas degradadas de pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum* Hoehst. El equipo fue evaluado en terrenos con pendientes entre el 4% y el 22%, en los cuales trabajó a una profundidad promedio de 6 cm, capacidad de campo de 736 m³/h y eficiencia de operación de hasta 65%. El equipo renovador de praderas tiene un peso de 540 N, una longitud de 106 cm, y una tolva con capacidad de 18.5 dm³ para fertilizante y 11.3 dm³ para semillas.

Palabras claves: renovación de praderas, pasto kikuyo, *Pennisetum clandestinum* Hoehst, tracción animal, laderas, equipos intersembrado, trópico alto andino.

ABSTRACT

A prairie restoring machine was designed, build and evaluated in the field. This implement will cover traction needs of hilly land agro-ecosystems in the Tropical Andean of Colombia (Barragán, Tuluá, Cauca River Valley). The equipment can simultaneously scarify, sow seeds and fertilize degraded prairies of Kikuyo *Pennisetum clandestinum* (Hoehst). The evaluation was performed in hilly lands from 4 to 22% slope. The results showed an average depth of 6 cm, real field capacity of 736 m³h⁻¹ and operating efficiency of 65.2%. The machine is 106 cm long and weights 540 N. It has a hooper with a capacity of 18.5 dm³ for fertilizer and 11.3 dm³ for seed.

Keywords: renovation of prairies, Kikuyu grass, *Pennisetum clandestinum* Hoehst, Animal traction, Hillsides, Inter-sowing equipment, Tropical Andean highlanders.

INTRODUCCIÓN

Colombia cuenta con 56.5% de área potencial para la agricultura de ladera, y se caracteriza como productora de alimentos agropecuarios para el consumo directo de la población, por lo tanto es determinante para la seguridad agroalimentaria de las regiones del país. Los procesos de mecanización de la agricultura de ladera en Colombia se realizan por medio de operaciones manuales, sin herramientas especializadas, con altos requerimientos energéticos, bajos rendimientos de campo, costos elevados y sin manejo adecuado de los recursos de suelo y agua.

Las zonas de ladera se deben mecanizar con los criterios de manejo y conservación de suelos, con el fin de disminuir el efecto de los implementos de labranza sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas; de igual forma, disminuir la erosión causada por el uso de la mecanización convencional. La mecanización de ladera se restringe cuando las pendientes son mayores a 12%, lo que requiere adoptar nuevas tecnologías para labrar el suelo.

El empleo de la tracción animal, como fuente de potencia en la agricultura, tiene gran importancia en el ámbito mundial por todas las características y ventajas que representa, en lugares donde las condiciones geográficas adversas no permiten el empleo de la tracción mecánica (Mendoza, 1995). Las labores de labranza con equipos para tracción animal se ven afectadas por las condiciones del suelo; tales operaciones realizadas en condiciones de suelo medio (suelos de textura fran-

1. Ingenieros Agrícolas. Universidad Nacional de Colombia, Universidad del Valle. E-mail: vhborda_co@yahoo.es; nolanipa@hotmail.com

2. Profesores Asociados Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, A.A 237 Palmira, Valle, Colombia. E-mail: ochaparro_anaya@hotmail.com, mramirez@palmira.unal.edu.co

ca) alcanzan velocidades promedias de operación de 0.7 ms-1, fuerza de tiro de 1500 N y potencia de 1.05 Kw (Chaparro, 1998).

En el área del trópico alto andino de los corregimientos de San Juan de Barragán y Santa Lucía, Tuluá, Valle, Colombia, se identificó el deterioro del recurso suelo, por la presencia de la actividad ganadera. Sumado a ello, el único método de renovación del pasto kikuyo *Pennisetum clandestinum* Hoechst, que se realiza en la región se hace roturando el suelo, en el arreglo espacial y temporal pasto-papa-pasto (Corpoica, 1994)

Con la tecnología del "Equipo renovador de praderas para tracción animal", que simultáneamente escarifica, siembra y fertiliza la pradera, se busca disminuir el avance de la frontera agrícola y la degradación del suelo por utilizar técnicas no apropiadas en la recuperación de praderas (rotación pasto-papa-pasto), que permite la renovación del pasto, pero como la labranza se hace roturando el suelo con implementos como los arados rotativos y/o de discos se incrementa el efecto erosivo, generando mezcla y afloramiento del subsuelo que con la interacción de agentes naturales incide en la formación de cárcavas.

Por lo anteriormente expuesto, la presente investigación se formuló con los siguientes objetivos:

1. Diseñar y construir un equipo renovador de praderas de tracción animal con criterios ergonómicos para condiciones de ladera.

2. Evaluar el equipo renovador en praderas degradadas de kikuyo *Pennisetum clandestinum* Hoechst. en los sistemas de producción ganaderos de una región del trópico alto andino de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El estudio se realizó en el corregimiento de San Juan de Barragán, municipio de Tuluá, Valle, ubicado en la coordenada terrestre 75° 52' W y 4° 01' N, entre altitudes de 2.500 a 4.200 m.s.n.m. El piso térmico es frío seco, con temperaturas que oscilan entre 6 a 14°C, humedad relativa del 70% y precipitación promedio anual de 1.000 mm; en un régimen bimodal con dos períodos secos (enero-febrero y julio-agosto) y dos períodos húmedos (marzo-junio y septiembre-noviembre). En la región predominan los Andisoles, con texturas medianamente finas a moderadamente finas, con densidades aparentes de 0.52 a 1.12 Mg/m³, baja fertilidad limitada por la acidez (pH: 5.2 a 6.1) y alta capacidad de fijación de fósforo.

Diseño y construcción del equipo

La Figura 1 presenta el diagrama de flujo con las etapas técnicas seguidas para el diseño y construcción del equipo renovador de praderas para tracción animal. Se consideró que éste realizara labores simultáneas de escarificación, siembra y fertilización, teniendo en cuenta aspectos como pendiente, capacidad de operación y ergonomía del operario.

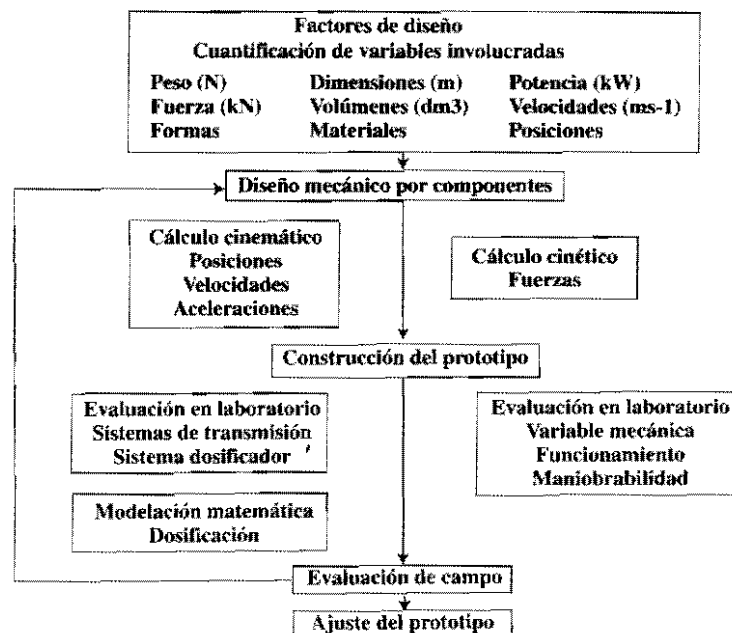


Figura 1. Esquema metodológico para el diseño, construcción y evaluación del equipo renovador.

EVALUACIÓN MECÁNICA DEL EQUIPO

La evaluación del equipo se realizó en las siguientes fases:

1. Evaluación de los sistemas de transmisión y dosificación para semilla y fertilizante, utilizando un banco de prueba con el fin de estimar el flujo másico de fertilizante y semilla en función del área de descarga, la frecuencia angular y el tipo de aletas dosificadoras.
2. Evaluación en campo en siete fincas del sistema de corte del cespedón con cuchilla y disco de corte; de la profundidad trabajo y roturación del suelo con el cincel y la reja con aleta de corte RAC. Las variables evaluadas fueron:
 - a. Profundidad de trabajo: Se midió empleando una barra de 7 mm de diámetro graduada cada centímetro. La evaluación se hizo mediante la fijación de un punto de referencia sobre la superficie del pasto. La frecuencia de toma de datos fue aleatoria a lo largo del surco trabajado, para cada alternativa.
 - b. Ancho de trabajo: Se calculó como la relación entre el área trabajada y el número de pases del equipo renovador en el área.
 - c. Velocidad de operación: Se calculó como la relación entre la longitud lateral de cada alternativa y el tiempo que se tardaba en recorrerla.
 - d. Capacidad real de campo: Se calculó como la relación entre el área trabajada y el tiempo de renovación. Unidad de medida [m^2/h].
 - e. Capacidad teórica de campo: Se calculó como el producto entre la velocidad de operación y el ancho de trabajo. Unidad de medida [m^2/h].
 - f. Eficiencia de operación: Se calculó como la relación entre las capacidades de campo real y teórica. Se expresa en [%].
 - g. Características físicas de la semilla: Granulometría, ángulo de descarga, densidad relativa y forma.
 - h. Características físicas del fertilizante: Humedad relativa, ángulo de descarga, densidad relativa, granulometría y forma.

Las diferencias entre las variables velocidad de operación y capacidad real de campo se analizaron estadísticamente mediante un modelo de diseño de bloques completos al azar, tomando como criterio de bloqueo el factor finca, y utilizando la prueba Duncan para la comparación de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diseño y construcción del equipo

La Figura 2 muestra los componentes del equipo renovador de praderas para tracción animal. La cuchi-

lla es anterior al cincel con el fin de mejorar la escarificación y disminuir el “entrapamiento” originado por el kikuyo. Se encontró, en el análisis estático, que la posición del tiro se localiza por debajo de la estructura con el fin de equilibrar las fuerzas ocasionadas por la labor de escarificación.

La tolva se compone de un solo cuerpo dividido internamente en dos compartimentos: para fertilizante y semilla. La capacidad del compartimiento para fertilizante es de 18.4 dm^3 y para semilla de 11.3 dm^3 . La capacidad de los compartimentos de la tolva obedece a la necesidad de desplazar el centro de gravedad del equipo por debajo de su estructura con el fin de mejorar maniobrabilidad y estabilidad.

A partir de un banco de pruebas se construyó un sistema de transmisión por cadenas de eslabón separable (Etwood) para dosificar fertilizante y semilla. Este se compone de una serie piñones (corona motriz, piñones puente y piñones de dosificación) con relaciones piñón (dosificador)/corona (motriz) (1.5) y piñón / piñón (dosificador) (1).

Evaluación del equipo renovador

Durante el proceso de diseño se evaluó el sistema de corte con un disco, que luego se reemplazó por una cuchilla con el fin de disminuir el riesgo al corte en las extremidades de los bueyes; esta cuchilla tiene un ángulo de 11° de inclinación con el fin de disminuir la fuerza de corte y los esfuerzos estructurales causados por el enraizamiento.

Para la escarificación se diseñó un cincel con base en las fuerzas originadas por el suelo (sobrecarga, adhesión y cohesión) sobre el equipo, lo que determinó un espesor (1.6 cm) y un ángulo de ataque de 23° , para escarificar el kikuyo “acolchonado” a una profundidad promedio de trabajo de 6.6 cm.

La incorporación de la reja con aleta cortante (RAC) redujo el riesgo de falla estructural ocasionada por el tipo de enraizamiento estolonífero del kikuyo. La reja permite elaborar surcos abiertos de 12 cm de ancho que facilitan la siembra y germinación de las semillas incorporadas con el equipo, ya que con surcos de 5 cm de ancho el enraizamiento del kikuyo limita la germinación.

A partir de un análisis ergonómico de los yunteros de la zona se diseñó y construyó una manquera con desviación ulnar de 15° y un largo de 12 cm (1.5 veces el ancho de la mano), con lo que se mejoró el dominio del equipo y redujo el cansancio en la muñeca del yuntero. En las evaluaciones de campo se encontró que al incorporar la rueda de apoyo permitió controlar

la profundidad de trabajo del equipo y facilitar el transporte.

El prototipo tiene un peso 540 N, 1.06 m de largo y 0.8 m de alto (Tabla 1), que permiten optimizar la

fuerza de la yunta en la labor de escarificación y mejorar la maniobrabilidad del equipo. Estas dimensiones y peso son similares a las reportadas en la literatura para equipos de siembra directa.

Número	Descripción
1	Estructura
2	Tolva
3	Mancera
4	Rueda motriz
5	Trasmisor y tensor
6	Cíncel y reja RAC
7	Tubos distribuidores
8	Cuchilla
9	Rueda de transporte
10	Tiro

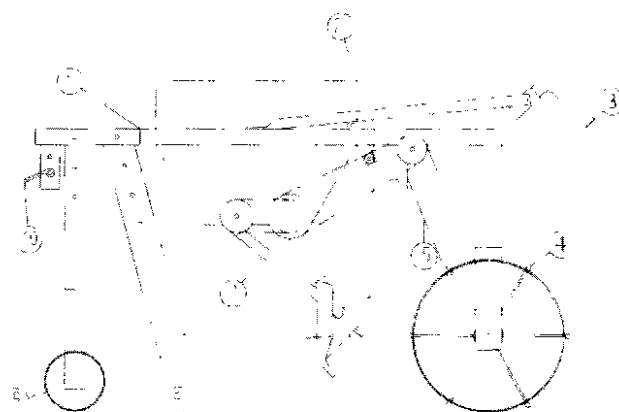


Figura 2. Equipo renovador de praderas para tracción animal.

Tabla 1. Características del equipo con tracción animal para renovar praderas.

No.	Denominación	Datos	No.	Denominación	Datos
1	Equipo	Renovador de praderas		Masa (kg)	1
2	País	Colombia		Material	Acero 1380
3	Dimensiones máximas (cm)		8	Cuchilla (cm)	
	Largo	116.0		Largo	61.5
	Ancho	27.7		Ancho	7.62
	Alto	80.0		Espesor	1.27
4	Peso total (N)	540		Material	Acero 1380
5	Mancera (cm)		9	Tolva (cm)	
	Posición mano:			Alto	36.0
	Desviación ulnar (°)	15		Largo	50.0
	Largo	16.0		Ancho	19.0
	Diámetro	25.4		Capacidad en fertilizante (dm ³)	18.45 (17.53 kg 10-30-10)
	Material	Tubo de hierro galvanizado		Capacidad en semilla (dm ³)	11.29 (4.55 kg tréboles)
6	Cíncel (cm)			Material	Lámina Cold rolled Calibre 20
	Angulo de ataque (°)	23	10	Sistema dosificador	
	Largo	47.0		Dosificador de 4 aletas	
	Ancho	5.08		en eje de Ø 1.6 cm	2
	Espesor	1.6	11	Sistema de transmisión	
	Material	Acero 1045		Cadena de eslabón separable	S32
7	Reja (cm)			Tipo	Rueda motriz Ø 38.1 cm
	Largo	20.0		Forma de transmisión	Cadena y piñones
	Ancho	12.0		Regulación	Piñones intercambiables
	Alto	12.0	12	Altura enganche desde el eje estructural	Variable entre el punto 1 y 10 (Figura 1)

EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES MECÁNICAS DEL EQUIPO

En la Tabla 2 se muestran los valores obtenidos para capacidad real de campo, el tiempo de renovación fue similar para diferentes alternativas con la misma yunta. Además, se encontró que la capacidad real fue diferente entre las yuntas Lucero-Naranjo (761 m²/h) y

Pielroja-Venado (735 m²/h); éstas se explican por la raza de la yunta y la experiencia del yuntero. Se observa que la capacidad real aumenta en un 10% frente a lo reportado por Campbell (1990).

En la velocidad de operación se encontró que la yunta Pielroja-Venado trabaja a mayor velocidad (0.75 m/s) que la yunta Lucero-Naranjo (0.49 m/s); esta di-

ferencia se explica por la experiencia del yuntero y raza de la yunta. Se observa que la velocidad de operación de la yunta Lucero-Naranjo es inferior al valor encontrado en otras yuntas, mientras que la velocidad de la yunta Pielroja-Venado corresponde al valor reportado en la literatura.

La profundidad de operación fue similar para ambas yuntas; Lucero-Naranjo: 6.6 cm y Pielroja-Venado: 6.8 cm (Tabla 3). Esta profundidad se logró colocando el gancho del tiro en la primera posición, es mayor que la óptima para la germinación de semillas finas (2 cm), pero adecuada para fertilización (6 cm) y escarificación.

El ancho de operación fue similar para ambas: Pielroja-Venado 0.63 m y Lucero-Naranjo 0.66 m. Estos valores son inferiores a los recomendados para mezcla de leguminosas y gramíneas en franjas (1 a 1.5 m con franjas de 20 cm) y es superior a los anchos para establecimiento de otras especies (0.15 a 0.3 m) en la renovación de potreros. El ancho de operación varía con la experiencia del yuntero para mantener el surco de trabajo.

Se encontraron diferencias entre eficiencias de las yuntas: Lucero-Naranjo 66%, y Pielroja-Venado 46%. Las diferencias se explican por la relación que existe entre la capacidad real de campo y la velocidad de operación, ya que al incrementarse la velocidad de operación en la yunta, la eficiencia disminuye para anchos de operación similares. Estas eficiencias están dentro del rango reportado en la literatura (50 a 75%) (Herrandina, 1992).

Modelación de la descarga de fertilizante y semilla

En la Tabla 4 se presentan las ecuaciones para estimar el flujo másico de fertilizante y semilla (M) en función del área de descarga (y) y la frecuencia angular (x) para un dosificador tipo aletas. Los altos coeficientes de regresión (en ambos casos de fertilizante y semilla fueron mayores de 0.87), indican que se presentó un buen ajuste de los datos a los modelos de regresión de potencias para predecir el flujo másico de semilla y fertilizante.

Tabla 2. Rendimiento real y Velocidad de operación para el equipo renovador de praderas.

Variable	Unidad	Yunta	
		Lucero-Naranjo	Pielroja-Venado
Capacidad real	m ² /h	761 ± 41	735 ± 19
Velocidad de operación	m/s	0.49 ± 0.02	0.75 ± 0.04

Tabla 3. Medias de eficiencia, profundidad y ancho de operación para el equipo renovador de praderas.

Variable	Unidad	Yunta	
		Lucero-Naranjo	Pielroja-Venado
Profundidad	cm	6.6 ± 0.1	6.8 ± 0.1
Ancho de trabajo	m	0.66 ± 0.03	0.63 ± 0.17
Eficiencia	%	65 ± 3	46 ± 14

Tabla 4. Modelos para estimar el flujo másico de fertilizante y semilla para el equipo renovador de praderas.

Material	Modelo	R ²	Parámetro	Valor
Fertilizante completo (10-30-10)	$M = a + b \cdot x^{-1} + c \cdot y^{0.5}$	0.87	a	36.2
			b	11.6
			c	59.9
Semilla <i>Trifolium</i> sp	$M = a \cdot x^b \cdot y^c$	0.90	a	0.61
			b	0.54
			c	1.92

M: Flujo másico [kg/h]

x: Frecuencia angular del eje dosificador [1/min.]

y: Área de descarga [cm²]

En la Tabla 5 se muestran las dosificaciones para el fertilizante y semilla para diferentes distancias y aperturas de descarga. Se aprecia que a medida que se tienen menores aperturas y aumenta la distancia entre surcos se obtiene un valor menor en la dosificación, esto indica que se puede ajustar la dosificación de acuerdo con los requerimientos de fertilización en función

de la distancia entre surcos y el área de descarga. Se logró aplicar fertilizante desde 33 kg/ha hasta 256 kg/ha, a una separación entre surcos entre 1.0 m hasta 0.3 m respectivamente; en el caso de semilla se puede sembrar desde 2 kg/ha hasta 21 kg/ha para la misma distancia entre surcos.

Tabla 5. Dosificación para diferentes distancias entre líneas de fertilizante (10-30-10) y semilla (Tréboles rojo y blanco).

Material aplicado	Apertura [cm ²]	Flujo másico [kg/h]	Distancia entre surcos [m]							
			0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
			Dosificación [kg/ha]							
Fertilizante (10-30-10)	0,5	5,86	109	81	65	54	47	41	36	33
	0,6	9,90	183	138	110	92	79	69	61	55
	0,7	13,61	252	189	151	126	108	95	84	76
Semilla Trébol (Rojo y Blanco)	0,3	0,43	8	6	5	4	3	3	3	2
	0,4	0,74	14	10	8	7	6	5	5	4
	0,5	1,14	21	16	13	11	9	8	7	6

CONCLUSIONES

1. Fijar la posición del enganche de tiro en la parte inferior de la estructura permitió mejorar las condiciones de maniobrabilidad del renovador de praderas.
2. Al incorporar una cuchilla de corte en la parte anterior al cincel se facilita el trabajo de escarificación, porque se corta el enraizamiento de kikuyo que se forma en praderas degradadas e improductivas por efecto de la no-renovación en el tiempo.
3. Al incorporar una reja con aleta cortante (RAC) se facilita el proceso de corte del cespedón de kikuyo y la escarificación de la pradera.
4. La disposición de las mangueras para la aplicación del fertilizante y semilla permitieron depositarlas al fondo del surco.
5. Los resultados de la evaluación indican que el equipo renovador de praderas para tracción animal es una tecnología viable, que se adapta a las características de los suelos de ladera y a las prácticas culturales de los agricultores de la región alto andina.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Transferencia de Tecnología Agropecuaria —Pronatta, Proyecto 6D 1768071— del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia por su aporte financiero al proyecto, y a los agricultores de la Fundación Páramos y Frailejones por su colaboración logística y participación en el desarrollo de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Campbell, J. K. (1990). Dibble sticks, Donkeys and diesels. International Rice Research Institute, IRRRI. p. 329.
 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica. (1994). Caracterización de los sistemas de producción en los corregimientos de Barragán y Santa Lucía, Tuluá. Tuluá: Corpoica Regional 5. s.p.
 Mendoza G., P. *et al.* (1995). Evaluación del multiarado de tracción animal. Revista Chapingo. p. 97-100.
 Chaparro, O. (1998). Sistemas de labranza en ladera: Algunas reflexiones sobre sus problemas y soluciones. Palmira. s.p.
 Herrandina y Cooperación Técnica del Gobierno Suizo (1992). Mecanización agrícola. Tomo II. Lima. p 413-433.