

Metodología de evaluación económico-operativa para la rehabilitación de pastizales degradados basada en horadación con tubos sacabocados

Economic-Operational Evaluation Methodology for Pasture Rehabilitation Based on Coring with Soil Samplers Tubes

✉ Yusmeli Guerra Caballero^{*}, Yanara Rodríguez-López¹,
 Arturo Martínez-Rodríguez¹, Carlos Fresneda-Quintana² and Sheila Sosa-Cueto¹

¹Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: yanita@unah.edu.cu, armaro646@gmail.com, sheilasc@unah.edu.cu

²Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba. E-mail: cfresneda291@gmail.com

*Autora para correspondencia: Yusmeli Guerra Caballero. E-mail: silemsuy@unah.edu.cu

RESUMEN: Ante el problema de la compactación del suelo en pastizales cubanos causada por el sobrepastoreo, que reduce su productividad y degrada el ecosistema, se propone la metodología de una tecnología de horadación con tubos sacabocados. Este método, menos invasivo y costoso que las técnicas tradicionales como el subsolado o el arado, consiste en perforar el suelo para extraer pequeños tapones de tierra, mejorando así la aireación, la infiltración de agua y el desarrollo de las raíces en la capa superficial afectada por el pisoteo del ganado. La metodología busca evaluar la viabilidad económica y operativa de esta tecnología en condiciones locales, demostrando que representa una alternativa eficiente, de bajo consumo energético y mínimo impacto ambiental para la rehabilitación sostenible de los pastizales.

Palabras clave: compactación del suelo, sobrepastoreo de pastizales, aireación del suelo, infiltración de agua.

ABSTRACT: Given the problem of soil compaction in Cuban grasslands caused by overgrazing, which reduces productivity and degrades the ecosystem, the methodology of drilling technology with punch tubes is proposed. This method, less invasive and expensive than traditional techniques such as subsoiling or plowing, consists of drilling into the soil to extract small plugs of soil, thus improving aeration, water infiltration and root development in the surface layer affected by livestock trampling. The methodology seeks to evaluate the economic and operational viability of this technology in local conditions, demonstrating that it represents an efficient alternative, with low energy consumption and minimal environmental impact for the sustainable rehabilitation of grasslands.

Keywords: soil compaction, grassland overgrazing, soil aeration, water infiltration.

INTRODUCCIÓN

Los pastizales constituyen el principal alimento de los herbívoros destinados al consumo humano, los que han permitido que ciertas regiones se caractericen por su abundante y variada producción ganadera. Asimismo, hasta hace no muchos años a la agricultura no se le ha dado la apropiada importancia tecnológica y actualmente su interés se ha direccionado a las metodologías de cultivos y muy en especial, al diseño de maquinaria y accesorios agrícolas que buscan mejorar la eficiencia en múltiples actividades agrarias tales como siembra, abonado, aireación, renovación, transporte de productos, cosecha entre otras (Matteucci & Colma, 1997).

La conservación de los pastizales es esencial para proteger la vida silvestre y mantener el equilibrio ecológico, ya que actúan como esponjas naturales, absorbiendo el agua de lluvia y previniendo inundaciones (Reid *et al.*, 2008).

Botta *et al.* (2022) señala que el constante pisoteo por parte del ganado al pastizal produce compactación del suelo, esto implica que la permeabilidad se pierda paulatinamente, impidiendo que agua, aire y nutrientes ingresen en él, reduciendo progresivamente la producción del pastizal. Para la recuperación de pastizales que, debido al sobrepastoreo, ven reducido su rendimiento producto de la compactación superficial, en Cuba se emplean tecnologías altamente invasivas y costosas.

Recibido: 08/07/2025

Aceptado: 28/10/2025

Conflictos de intereses: Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Conceptualización, Curación de datos: Y. Guerra. Análisis formal: Y. Guerra. Investigación: Y. Guerra, Y. Rodríguez, A. Martínez, C. Fresneda, S. Sosa. Metodología: Y. Guerra. Supervisión: Y. Guerra, Y. Rodríguez. Validación: Y. Guerra, Y. Rodríguez, A. Martínez, C. Fresneda. Visualización: Y. Guerra, Y. Rodríguez. A. Martínez, C. Fresneda, S. Sosa. Roles/Redacción, borrador original: Y. Guerra, Y. Rodríguez, A. Martínez. Redacción, revisión y edición: Y. Guerra, A. Martínez.

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



Entre las más comunes se encuentran los subsoladores y descompactadores, que mejoran la aireación y el drenaje del suelo al romper las capas compactadas. Los arados de cincel preparan el suelo para la siembra, mientras que las sembradoras directas permiten sembrar sin necesidad de labranza previa, reduciendo la erosión. Además, los rodillos compactadores aseguran un buen contacto entre las semillas y el suelo, y los pulverizadores aplican productos fitosanitarios de manera uniforme.

La aireación de los suelos agrícolas

La aireación del suelo se refiere al abastecimiento de oxígeno para el buen desarrollo de los microorganismos y de las raíces de las plantas que posee el suelo. Entre los factores importantes para un buen desarrollo de las plantas, está la aireación del suelo, ya que los poros de este contienen una mezcla de agua y gases, constituyendo la atmósfera del suelo (Curran-Cournane et al., 2011).

Importancia de la aireación del suelo en pastizales

La aireación periódica de la tierra es fundamental para mantener sanas las tierras de cultivo. La salud de las cosechas o pastizales para el ganado depende de permitir a las plantas y hierbas formar redes de raíces profundas y fuertes. La tierra compactada es el resultado del paso de tractores y animales grandes que la comprimen, lo que inhibe el crecimiento de las raíces y la formación de microorganismos benéficos al colapsar las bolsas de aire necesarias la formación de paja tiene los mismos efectos. En consecuencia, el proceso de reinsertar de agujeros de aire al hacer orificios en la tierra tiene un efecto saludable en el crecimiento de la flora agrícola al promover el crecimiento de las raíces y la mejora del riego. Los momentos óptimos para airear la tierra dependen del cultivo y de su temporada de crecimiento habitual (Bakker & Hidding, 1970).

Importancia económica de los pastizales

Según Altesor et al. (2011) los pastizales, como ecosistemas extensos cubiertos principalmente por pasto y herbáceas, donde los árboles y arbustos son escasos. Desempeñan un papel crucial en la sostenibilidad ambiental y la economía global. Los pastizales son vitales para la subsistencia de millones de personas. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), más de 800 000 000 de personas dependen de los pastizales para su sustento. Estos ecosistemas proporcionan una amplia gama de servicios y productos, como alimentos, forraje y energía (Prieto & Ernst, 2010).

Además de su importancia para la alimentación humana, los pastizales juegan un papel crucial en la conservación de la biodiversidad. Son el hogar de numerosas especies de animales y plantas, muchas de las cuales son endémicas y no se encuentran en ningún otro lugar del mundo. La conservación de los pastizales es esencial para proteger la vida silvestre y mantener el equilibrio ecológico (Altieri, 2002).

Por último, los pastizales desempeñan un papel importante en la regulación del ciclo del agua y el almacenamiento de carbono. Estos ecosistemas actúan como esponjas naturales, absorbiendo el agua de lluvia y ayudando a prevenir inundaciones. También almacenan grandes cantidades de carbono, ayudando a mitigar el cambio climático (Altieri, 2002).

El fenómeno de compactación y su impacto en la degradación de pastizales

El suelo es una de las partes fundamentales de las haciendas y terrenos productivos de la región, por lo que éste se convierte en elemento principal en el desarrollo de sus sistemas agroecológicos, agrícolas y pecuarios, el estudio de la compresión del suelo debido al pisoteo, por parte de los animales, durante el pastoreo es un tema de gran importancia en lo referente a la productividad actual y futura de los mismos (Botta et al., 2022).

Tomando como base la revisión realizada, el objetivo del estudio es proponer la metodología de una tecnología de horadación con tubos sacabocados, que consiste en perforar el suelo para extraer pequeños tapones de tierra, mejorando así la aireación, la infiltración de agua y el desarrollo de las raíces en la capa superficial afectada por el pisoteo del ganado. La metodología busca evaluar la viabilidad económica y operativa de esta tecnología en condiciones locales, demostrando que representa una alternativa eficiente, de bajo consumo energético y mínimo impacto ambiental para la rehabilitación sostenible de los pastizales.

DESARROLLO DEL TEMA

Métodos

Las metodologías serán utilizadas en la Granja El Guayabal, perteneciente a la Universidad Agraria de la Habana, donde se realizan los trabajos de campo y la investigación experimental. Para el estudio se necesitará un área de 2 ha de pastizales y un tractor de clase traccional de 14 kN. Para la labor se utilizarán movimientos de hileras superpuestas y combinadas, y un giro sin solape, como se muestra en la figura 1.

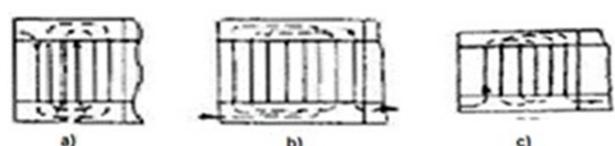


Figura 1. Tipos de giros y formas de movimientos y tipos movimientos para las labores a realizar, a) movimiento hendiendo en franjas, b) movimiento combinado en franjas y c) forma de giro sin laso.

Para la determinación de las condiciones de experimentación se procederá según lo establecido en la PG-CA-042 (2013), para caracterizar la parcela de prueba y en la cual se establece:

Tipo de suelo y su denominación y relieve del terreno. Se tomaran los mapas existentes donde se ejecutarán los ensayos, conforme a la II Clasificación Genética de los Suelos en Cuba (Hernández-Jiménez et al., 2019).

Determinación de la densidad volumétrica, γ_d . Las muestras se tomarán en varios puntos a lo largo de ambas diagonales de la parcela de ensayo, a tres niveles de profundidad (0 a 0,1 m; 0,1 a 0,2 m; 0,2 a 0,3 m). Se utilizará una barrena y cilindros de 100 cm³ de capacidad, según la norma NC ISO 11508: (2000). Las masas de las muestras se determinarán después de secarlas en una estufa MEMMERT a 105°C durante 24 h, utilizando una balanza de precisión METTELEL TOLEDO, modelo B 2002-S ($\pm 0,1$ g). Los valores de las masas de suelo secas entre el volumen fijo de los cilindros determinan los valores de γ_d , promediándose para cada nivel de profundidad. Se calculará por la expresión 1:

$$\gamma_d = \frac{G_n}{V_c} \quad (1)$$

donde: γ_d - es la densidad volumétrica del suelo, g/cm³; G_n - es la masa de la muestra del suelo después de secado, g; V_c - es el volumen del cilindro para la toma de muestra, cm³.

Las muestras de suelo en cada uno de los puntos seleccionados del área experimental se colocarán en sacos de nylon previamente numerados y se llevarán al laboratorio de mecánica de suelos para su pesado antes y después del secado.

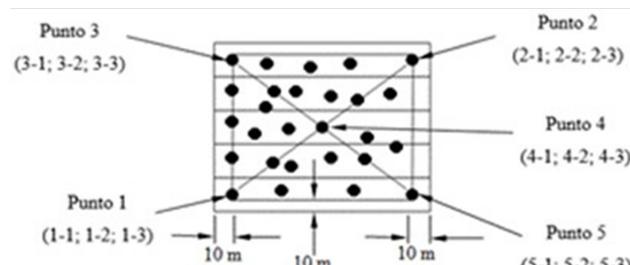


Figura 2. Esquema de puntos y toma de muestras de suelo

Determinación de la humedad del suelo. Se determinará por el método gravimétrico, según la NC 110: (2010) y en los mismos puntos y profundidades designadas para la densidad aparente del suelo se colocará una parte del suelo de aquellos en recipientes herméticos (superiores a 250 cm³ de capacidad), determinándose su masa al instante de ser tomadas y después de ser secadas, según lo explicado anteriormente y promediándose por niveles de profundidad.

Medición de la huella de las horadaciones

Para las pruebas de investigación se consideró medir las dimensiones de la huella de horadaciones, la fuerza de tiro necesaria para trabajar con la máquina propuesta, así como el peritaje técnico de la máquina.

Las dimensiones de la huella de las horadaciones efectuadas por el implemento se determinarán mediante la medición del diámetro y profundidad de las mismas.

El diámetro y la profundidad se determinarán empleando un pie de rey con precisión de 0,1 mm. El diámetro será medido en dos direcciones diamatrales, mientras que para la determinación de la profundidad se encajaran en los agujeros un sector de barra metálica en la que se marca el nivel del suelo posterior a su introducción, tomándose la medición con el pie de rey sobre dicha barra. La distancia entre los orificios y su distribución en la superficie del suelo se determinarán con una regla graduada con exactitud hasta 1 mm.

Métodos y medios a emplear para la medición experimental de la fuerza de tiro en condiciones de campo.

En la figura 3 se muestra la medición de la fuerza de tiro requerida para el arrastre del cilindro aireador, se intercala un dinamómetro extensométrico (2) tipo KRD-2 entre el tractor (3) y el implemento objeto de medición.

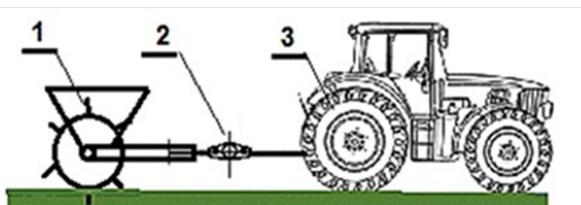


Figura 3. Conformación del agregado para la medición de la fuerza de tiro en condiciones de campo

Las señales analógicas captadas con el dinamómetro KED-2 son enviadas a través de una caja de conexiones de puentes extensométricos modelo YE 29003A, al amplificador de tensiones dinámico SINOCERA modelo YE 3817C, el cual las amplifica y envía a la tarjeta de adquisición de datos dinámica SINOCERA modelo YE 6231 que efectúa la conversión análogo-digital de las señales y las transfiere al procesador Intel (R) Pentium (R) i3 3.00 GHz para su registro Figura. 4.

Peritaje técnico de la máquina

El peritaje técnico de la máquina comprenderá:

Peritaje de la construcción de la máquina. Consiste en la determinación de los parámetros fundamentales de trabajo, la descripción técnica, características y fotografías, el peso constructivo, ancho de trabajo, la altura, así como centro de gravedad y estabilidad de acuerdo a la NC 19-02-13 (1986).



Figura 4. Algunos componentes del sistema de mediciones extensométricas: a) caja de puente extensométrico modelo ye 29003a; b) amplificador de tensiones dinámico sinocera modelo ye 3817c; c) tarjeta de adquisición de datos dinámica sinocera modelo YE 6231

Peritaje de seguridad técnica y de los mecanismos. Durante la prueba debe ser determinado: la seguridad de las piezas y conjuntos expuestos a la acción del medio, periodicidad y carácter del desgaste, roturas y sus causas, deformación de las piezas.

Metodología para la evaluación tecnológica y de explotación empleada para la descompactación-aireación de pastizales

La evaluación de los índices de explotación se basará en el Modelo 1 de Cronometraje, adaptado de la Norma NC-3437 (2003) y PG-CA-042 (2013).

Para la determinación de los índices tecnológico de explotación se clasificaron los tiempos del modelo 1 de cronometraje según lo establecido en PG-CA-042 (2013).

Para la determinación de los índices de productividad

En base a los datos primarios del cronometraje reflejados en el resumen, durante el período de prueba se determinarán los siguientes índices:

Primero se necesita calcular la productividad o capacidad de la máquina, es la cantidad de trabajo realizado por la misma en una determinada unidad de tiempo. La cantidad de trabajo puede ser medida en hectáreas laboradas y en toneladas de producto procesadas por hora, en el presente se determinará en ha/h.

Productividad por hora de tiempo limpio, (W_1):

$$W_1 = \frac{Q}{T_1}, \text{ha} \quad (2)$$

donde:

Q = volumen de trabajo realizado con la máquina en ha, kg y otros

Productividad por hora de tiempo operativo. (W_{02})

$$W_{02} = \frac{Q}{T_{02}}, \text{ha} \quad (3)$$

donde:

T_{02} = tiempo operativo, h;

$$T_{02} = T_1 + T_2, \text{h} \quad (4)$$

Productividad por hora de tiempo productivo. (W_{04})

$$W_{04} = \frac{Q}{T_{04}}, \text{ha} \quad (5)$$

donde:

T_{04} - tiempo productivo, h;

$$T_{04} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4, \text{h} \quad (6)$$

Productividad por hora de tiempo turno sin fallo. (W_t)

$$W_t = \frac{Q}{T_t}, \text{ha} \quad (7)$$

donde:

T_t = tiempo turno sin fallo, h;

$$T_t = T_1 + T_2 + T_3 + T_5 + T_6, \text{h} \quad (8)$$

Productividad por hora de tiempo de explotación. (W_{07})

$$W_{07} = \frac{Q}{T_{07}}, \text{ha} \quad (9)$$

donde

T_{07} = tiempo de explotación, h;

$$T_{07} \equiv T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6, \text{h} \quad (10)$$

Tiempo general del ensayo. (T_g)

$$T_g \equiv T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_8; \text{h} \quad (11)$$

Coeficientes de explotación.

Coeficiente de pases de trabajo (K_{21})

$$K_{21} \equiv \frac{T_1}{(T_1 + T_{21})} \quad (12)$$

Coeficiente de servicio tecnológico (K_{23})

$$K_{23} \equiv \frac{T_1}{(T_1 + T_{23})} \quad (13)$$

Coeficiente de mantenimiento técnico (K_3)

$$K_3 \equiv \frac{T_1}{(T_1 + T_3)} \quad (14)$$

Coeficiente de seguridad tecnológica (K_{41})

$$K_{41} \equiv \frac{T_1}{(T_1 + T_{41})} \quad (15)$$

Coeficiente de seguridad técnica (K_{42})

$$K_{42} \equiv \frac{T_1}{(T_1 + T_{42})} \quad (16)$$

Coeficiente de utilización del tiempo productivo (K_{04})

$$K_{04} \equiv \frac{T_1}{(T_1 + T_{04})} \quad (17)$$

Coeficiente de utilización del tiempo de explotación (K_{07})

$$K_{07} \equiv \frac{T_1}{(T_1 + T_{07})} \quad (18)$$

Metodología para la evaluación de la calidad en la descompactación-aireación de pastizales

La calidad del proceso de descompactación-aireación se evalúa mediante un protocolo integral basado en normativas internacionales que incluye tres fases: pre-evaluación (análisis de propiedades físicas del suelo), monitoreo en tiempo real (registro de parámetros operativos) y post-evaluación (verificación de efectos) (Smith, 2020).

Se miden indicadores clave como profundidad efectiva (varilla penetrométrica ± 1 mm), diámetro de horadaciones (calibrador digital ± 0.05 mm) y resistencia a la penetración (penetrómetro electrónico 0-1000 capa), con controles estrictos de humedad (12-18%) y velocidad (3,5-5 km/h). Para determinar la profundidad de trabajo se procede realizando 25 mediciones como mínimo distribuidas en las diagonales del campo a 14 m de sus extremos (Figura 5). Estas mediciones permiten una confiabilidad de 95% y un error de 0,5 según González-Cueto et al. (2017).

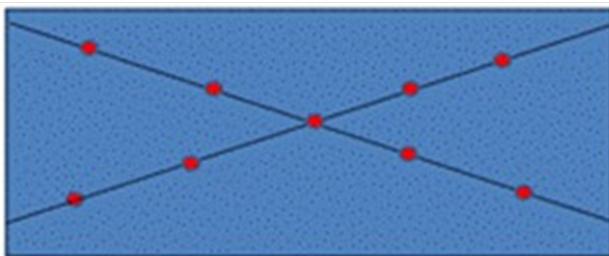


Figura 5. Esquema de la medición de profundidad en el campo

La uniformidad se cuantifica mediante el Índice de Distribución Espacial ($IDE \geq 85\%$) usando análisis geoestadístico, mientras que los cambios en densidad aparente (mínimo 8% de reducción) y estabilidad de agregados se validaron estadísticamente (ANOVA, $p < 0,05$), asegurando resultados confiables y reproducibles para la optimización del proceso.

Determinación de la estabilidad del agregado

La estabilidad dinámica se determina comparando estadísticamente los valores medios de la profundidad y su error (desviación) para cada hilera de los órganos de trabajo y para cada pase de trabajo en las pruebas realizadas. La medición se repite 15 veces para lograr resultados generalizables. Si no existe diferencia significativa entre estos valores para cada hilera y para cada pase, se puede afirmar que hay una adecuada dinámica transversal. La estabilidad dinámica longitudinal se comprueba si dichos valores de la desviación media en las profundidades no supera el 15%. Para determinar lo parámetros antes mencionados se utilizará del software estadístico Statgraphics versión 5.1

CONCLUSIONES

- La horadación con tubos sacabocados facilita la aireación del perfil radicular, reduce la densidad aparente del suelo y favorece la regeneración de

gramíneas palatables, aumentando la biomasa y la cobertura vegetal en superficies degradadas.

- La aireación del suelo y la reducción de compactación aumentan la infiltración de agua, reducen la erosión y favorecen la biodiversidad del suelo.
- La técnica de horadación con tubos sacabocados se alinea con prácticas de manejo sostenible cuando se combina con labores de aradura más gradeo en fases adecuadas, uso estratégico de fertilizantes y control de plantas forrajeras indeseables.
- El éxito depende de variables como disponibilidad de agua, precios del forraje, costos de insumos y variabilidad climática. Se recomienda un enfoque escalonado (pilotos por cuarteles), monitoreo de indicadores de suelo (humedad, porosidad, materia orgánica) y ajuste de densidad de horadación y frecuencia. Incorporar incentivos para la rehabilitación, diversificación de especies y un plan de mitigación de riesgos (p. ej., variación de densidad, reservas de insumos).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTESOR, A.; AYALA, W.; PARUELO, J.: "Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales", *Montevideo (UY): INIA*, 2011.
- ALTIERI, M.A.: "Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables", *Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable*, 34, 2002.
- BAKKER, J. al; HIDDING, A.: "The influence of soil structure and air content on gas diffusion in soils.", *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 18(1): 37-48, 1970, ISSN: 0028-2928.
- BOTTA, G.F.; NARDON, G.F.; GUIRADO CLAVIJO, R.: "Soil sustainability: Analysis of the soil compaction under heavy agricultural machinery traffic in extensive crops", *Agronomy*, 12(2): 282, 2022, ISSN: 2073-4395.
- CURRAN COURNANE, F.; McDOWELL, R.; LITTLEJOHN, R.; HOULBROOK, D.; CONDRON, L.: "Is mechanical soil aeration a strategy to alleviate soil compaction and decrease phosphorus and suspended sediment losses from irrigated and rain-fed cattle-grazed pastures?", *Soil Use and Management*, 27(3): 376-384, 2011, ISSN: 0266-0032.
- GONZÁLEZ-CUETO, O.; MACHADO-TRUJILLO, N.; GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, J.A.; ACEVEDO-PÉREZ, M.; ACEVEDO-DARIAS, M.; HERRERA-SUÁREZ, M.: "Evaluación tecnológica, de explotación y económica del tractor XTZ-150K-09 en labores de preparación de suelo", *Ingeniería Agrícola*, 7(1): 49-54, 2017, ISSN: 2227-8761.
- HERNÁNDEZ-JIMÉNEZ, A.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.M.; BOSCH-INFANTE, D.; SPECK, N.C.: "La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015", *Cultivos Tropicales*, 40(1), 2019, ISSN: 0258-5936.

- MATTEUCCI, S.; COLMA, A.: "Agricultura sostenible y ecosistemas áridos y semiáridos de Venezuela", *Interciencia*, 22(3): 123-130, 1997.
- NC 19-02-13: *Peritaje de la construcción de la máquina. Determinación de los parámetros fundamentales de trabajo, la descripción técnica, características y fotografías, el peso constructivo, ancho de trabajo, la altura, así como centro de gravedad y estabilidad de la máquina.*, Inst. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 1986.
- NC 110: 2010: *Calidad del suelo. Determinación de la humedad*, Inst. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, Vig. de 2010.
- NC- 3437: *Sistema de Gestión de la calidad. Prueba de máquinas agrícolas. Evaluación tecnológica y de explotación*, Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, vig de 2003.
- NC ISO 11508: 2000: *Determinación de la densidad de la fase sólida o peso específico*, Inst. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, Vig. de 2000.
- PG-CA-042: *Sistema de Gestión de la calidad. Prueba de máquinas agrícolas. Determinación de las condiciones de ensayo*, Inst. Ministerio dela Agricultura, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, La Habana, Cuba, 1-10 p., 2013.
- PRIETO, G.S.; ERNST, O.: "Manejo del suelo y rotación con pasturas: Efecto sobre la calidad del suelo, el rendimiento de los cultivos y el uso de insumos", *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, 45: 22-26, 2010.
- REID, R.S.; GALVIN, K.A.; KRUSKA, R.S.: "Global significance of extensive grazing lands and pastoral societies: an introduction", En: *Fragmentation in semi-arid and arid landscapes: Consequences for human and natural systems*, Ed. Springer, pp. 1-24, 2008.
- SMITH, R.H.: *Soil Compaction and Aeration*, Ed. ASABE EP291.3, ISO 5001:2019, USA, 524 p., 2020.