






Modificación de una fertilizadora de abonos químicos granulados para la aplicación de fertilizantes órgano-minerales

Modification of a granular chemical fertilizer spreader for the application of organo-mineral fertilizers

 Elvis López Bravo^{1*},  Omar González Cueto¹,  Maykel Cruz Díaz¹,
 Pedro Paneque Rondón² and  Miguel Herrera Suárez³

¹Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería Agrícola, Villa Clara, Cuba. E-mail: omar@uclv.edu.cu, maykelcd@uclv.edu.cu

²Universidad Agraria de La Habana, UNAH. Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, E-mail: paneque@unah.edu.cu

³Universidad Técnica de Manabí Facultad de Ingeniería Mecánica, Portoviejo, Manabí, Ecuador. E-mail: miguelhs2000@yahoo.com

*Autor para correspondencia: Elvis López Bravo, e-mail: elvislb@uclv.edu.cu

RESUMEN: El empleo de fertilizantes órgano-minerales en el cultivo de la caña de azúcar tiene como principal limitante las altas normas necesarias para aplicar al suelo, debido a la baja capacidad de entrega de las máquinas para fertilizantes químicos. El presente trabajo tiene como objetivo modificar el sistema de dosificación de las fertilizadoras TATU para lograr la dosificación adecuada de 2 y 4 t/ha de los fertilizantes de Nerea y Agromena. Para ello se realizó un estudio de sus partes y características generales, el sistema dosificador y la capacidad de la tolva. Como principales resultados se obtuvo la cadena cinemática del sistema de transmisión y se realizó el cálculo de las ruedas dentadas y su posición en la cadena cinemática. Se realizó el aumento de las dimensiones de la capacidad de la tolva para satisfacer la capacidad de campo de la máquina y se automatizó el cálculo del transportador sinfin. Se llegó a la conclusión de que con el intercambio de las ruedas conductora y conducida del hidromotor y el aumento de la relación de transmisión es posible obtener las dosis adecuadas de fertilizante. De igual modo debe aumentar la capacidad de la tolva a 1,1m³ para garantizar la capacidad de campo de la misma.

Palabras clave: propiedades del suelo, órgano-mineral, transportador sinfin, sistema de dosificación., maquinaria agrícola, caña de azúcar.

ABSTRACT: The use of organo-mineral fertilizers in sugarcane cultivation is primarily limited by the high application rates required due to the low delivery capacity of chemical fertilizer spreaders. This study aims to modify the dosing system of TATU fertilizer spreaders to achieve the appropriate application rates of 2 and 4 t/ha of Nerea and Agromena fertilizers. To this end, a study of the spreader's components and general characteristics, the dosing system, and the hopper capacity was conducted. The main results included the determination of the transmission system's kinematic chain and the calculation of the gears and their position within the chain. The hopper capacity was increased to meet the machine's field capacity, and the calculation of the screw conveyor was automated. It was concluded that by swapping the drive and driven wheels of the hydraulic motor and increasing the transmission ratio, it is possible to obtain the appropriate fertilizer application rates. Similarly, the hopper capacity must be increased to 1.1 m³ to ensure adequate field capacity.

Keywords: Fertilizer, Conveyor, Soil, Dosage.

INTRODUCCIÓN

La fertilización de la caña de azúcar, empleando fertilizantes orgánicos y minerales, contribuye al mejoramiento de las propiedades del suelo y al incremento de los rendimientos del cultivo. Los fertilizantes de origen orgánico propician la fertilidad natural y la salud del suelo, en tanto los minerales suplen las demandas nutricionales inmediatas y específicas del cultivo. Su empleo garantiza la sostenibilidad de la producción a

largo plazo, creando un ambiente propicio para que las raíces aprovechen al máximo los nutrientes. Asimismo, contribuye al mejoramiento de la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo, aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa, y la capacidad de retención del agua. Su formulación a partir de materias primas locales y derivados de diferentes procesos industriales, hace posible la disminución de los costos productivos, la activación de cadenas de suministros endógenas y un mejor acceso a los productores (Ortiz, 2019; Wang *et al.*, 2025).

Recibido: 20/08/2025

Aceptado: 30/01/2026

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

Contribución de los autores: Conceptualización, Metodología: Elvis López Bravo. Curación de datos, Escritura, borrador original: Elvis López Bravo, Omar González Cueto. Análisis formal: Elvis López Bravo, Maykel Cruz Díaz. Investigación: Elvis López Bravo, Maykel Cruz Díaz, Omar González Cueto. Supervisión, Validación: Elvis López Bravo, Omar González Cueto, Pedro Paneque Rondón, Miguel Herrera Suárez. Escritura, revisión y edición: Elvis López Bravo, Pedro Paneque Rondón, Miguel Herrera Suárez.

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/>



Las máquinas fertilizadoras son equipos destinados a la correcta distribución del fertilizante en los cultivos. La calidad de su trabajo depende de aspectos técnicos como la precisión en la dosificación y la uniformidad en la distribución. Sin embargo, muchos de estos equipos presentan limitaciones en términos de eficiencia y exactitud. Esta situación resalta la necesidad de desarrollar y evaluar nuevas tecnologías que optimicen tanto el uso de fertilizantes como la sostenibilidad de los sistemas agrícolas (Sánchez y González, 2018; Ortiz, 2019; Chen et al., 2023).

Para incrementar el rendimiento de la caña de azúcar es necesario la adopción de tecnologías que permitan incrementar la productividad del suelo, optimizar el uso de recursos e introducir mecanismos de precisión en cada etapa del proceso agrícola. En este sentido, la innovación en maquinaria agrícola juega un papel crucial, siendo una de las vías más efectivas para lograr una agricultura más eficiente y rentable (Palacios et al., 2011; Torres-Sandoval et al., 2023).

El uso de los fertilizantes órgano-minerales como la Nerea y Agromena, han sido objeto de estudio para lograr su incorporación eficiente al suelo empleando máquinas fertilizadoras (González-Cueto et al., 2025a; González-Cueto et al., 2025b). Estos fertilizantes han cobrado especial relevancia por sus beneficios agronómicos, en tanto combinan componentes orgánicos e inorgánicos logrando la liberación gradual de nutrientes y la mejora de las propiedades biológicas del suelo. No obstante, su aplicación eficiente requiere de equipos con características técnicas que garanticen una alta tasa de entrega, lo que no es posible lograr con el empleo de fertilizadoras diseñadas para la distribución de fertilizantes químicos. El presente trabajo tiene como objetivo modificar los parámetros del sistema de entrega de fertilizante de la fertilizadora TATU-M, a partir de la necesidad de su empleo en la aplicación de los fertilizantes Agromena y Nerea.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para caracterizar la fertilizadora TATU-M se utilizó la máquina perteneciente a la Empresa Agro Azucarera "George Washington" del municipio de Santo Domingo (Figura 1). Para ello se tomaron las dimensiones de cada uno de sus componentes empleando la regla graduada, cinta métrica y calibrador vernier. Durante el proceso se realizó

el desmontaje de las tolvas, las guarderas de la caja de velocidad, los órganos de trabajo y los conductos de salida.

Para la determinación de la relación de transmisión en cada uno de los escalones de velocidad se realizó la cadena cinemática desde el motor hidráulico al transportador, para ello se realizó el conteo de dientes de cada rueda de la caja de recambio y se elaboró la ecuación cinemática a partir de la formulación general:

$$i = \frac{Z_{\text{conductor}}}{Z_{\text{conducida}}} \quad (1)$$

donde:

Z conductor: Número de dientes de la rueda conductora;

Z conducida: Número de dientes de la rueda conducida.

El cálculo de la capacidad de la tolva para satisfacer la entrega se realizó bajo el criterio de mantener la relación entre la entrega de fertilizante y el volumen de la tolva, garantizando así los parámetros originales de diseño de la máquina, para lo cual se emplearon las metodologías para el diseño y evaluación de máquinas fertilizadoras (Cañavate et al., 1989; FAO, 1994). Se realizaron las mediciones de la tolva actual y su posición relativa respecto a los demás componentes. Para el cálculo de la velocidad de avance se empleó la siguiente ecuación:

$$v = \frac{600 \cdot Q}{D \cdot B} \quad (2)$$

donde:

v: velocidad de avance, km/h;

Q: caudal de entrega de las fertilizadoras (kg/min);

D: dosis de entrega (kg/ha);

B: ancho de trabajo (m).

Se determinó la capacidad de campo de la fertilizadora a la velocidad de avance de aplicación de la norma de entrega, considerando una eficiencia de campo del 70%, mediante la siguiente ecuación:

$$Wh = 0,1 \cdot v \cdot B \cdot 0,7 = 0,07v \cdot B \quad (3)$$

donde:

Wh: capacidad de campo (ha/h);

B: ancho de trabajo (m);

v: velocidad de avance (km/h).

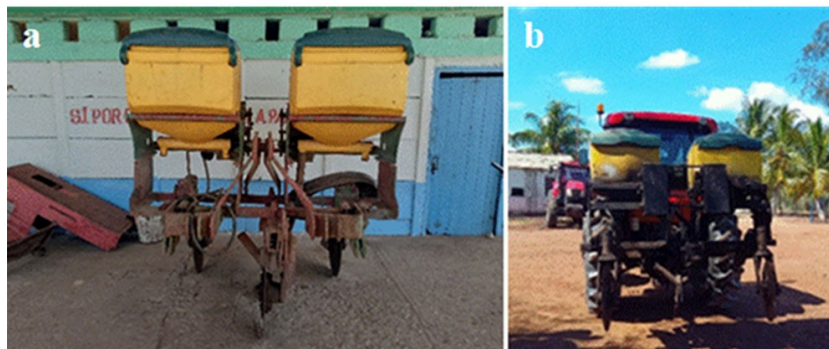


Figura 1. Fertilizadora TATU-M (a), Montaje al tractor (b).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la Fertilizadora TATU-M

La fertilizadora TATU-M (Figura 1a), es resultado de la modificación de la fertilizadora DCA-1200 de fabricación original brasileña por la empresa TATA Marchesan S.A. a la cual se realizó el montaje sobre el bastidor de la máquina fertilizadora F-350. Su empleo se localiza en la actividad de fertilización con químicos NPK en el cultivo de la caña de azúcar. La máquina es responsable de transportar el fertilizante desde la tolva al fondo del surco mediante un sistema de transportador sinfin. La norma de entrega se alcanza con el ajuste del número de revoluciones a que gira el transportador. La incorporación del fertilizante al suelo se realiza por medio de un órgano de cincel enterrado a una profundidad de 15 cm. Como fuente de tracción se utiliza el tractor MTZ-80 (Figura 1b). Las prestaciones de esta máquina son comparables con la fertilizadora ID-David empleada en operaciones foliares para cultivos varios a pesar de sus diferencias tecnológicas y de diseño (González-Cueto et al., 2023). En la tabla 1 se muestran los diferentes parámetros constructivos de la máquina, resultado de las mediciones realizadas.

Tabla 1. Parámetros de la TATU-M

Parámetro	Valor
Volumen tolva	0,35 m ³
Numero de tolvas	2
Órganos de trabajo	2
Discos corta paja	2
Ancho de trabajo	Surcos entre 0,60 - 2,10 m
Método de fertilización	Fondo del surco
Enganche	Tres puntos
Movimiento motriz	Sistema hidráulico
Largo	1,30 m
Ancho	2,11 m
Altura	1,30 m
Peso	380 kg
Potencia requerida	30 cv

Los diferentes componentes del sistema de conmutación de las velocidades del transportador sinfin que garantizan la variación de la norma de entrega se muestran en la Figura 2. La transmisión entre el árbol del hidromotor y la entrada a la caja de recambio (Figura 2b) se realiza mediante cadenas de paso doble de 25,4 mm con ruedas $Z_1=10$ y $Z_2=18$ lo que resulta en una relación de transmisión de $i = 0,55$ de tipo reductor. Para la velocidad nominal del hidromotor es de 500 min⁻¹, en la entrada de la caja se obtienen 275 min⁻¹. Finalmente, el movimiento de giro al transportador sinfin (Figura 2c) llega por medio de ruedas para cadenas con una ligera reducción de $i = 0,94$.

La cadena cinemática (Figura 3a), muestra el esquema de transmisión del movimiento de giro del hidromotor al transportador sinfin. El eje de salida del hidromotor se conecta a la caja, la cual tiene la capacidad de conmutar la velocidad de giro del transportador sinfin. Mediante la ecuación cinemática (Figura 3b) es posible calcular las diferentes combinaciones de ruedas para cadena según sea la demanda de entrega del fertilizante.

En la tabla 2 se muestran las velocidades de salida de la caja de cambio para cada combinación de ruedas, las cuales se intercambian por un mecanismo seleccionador de rueda voladiza. De las siete velocidades, tres de ellas cumplen la función de reductores, tres de multiplicadores y una neutral o directa.

Modificación del sistema de dosificación

Con la selección de la máxima velocidad de giro de 481,2 min⁻¹ en el sinfin, se logró una entrega de 19,3 kg/min de Agromena y 13,9 de Nerea según las mediciones realizadas en condiciones estáticas. No obstante, las normas de entrega para los fertilizantes Agromena y Nerea son de 74,6 y 37,3 kg/min para satisfacer la norma de 4 t/ha y 2 t/ha respectivamente.

Las modificaciones para aumentar la entrega del fertilizador se basan en aumentar la velocidad de giro del transportador sinfin en correspondencia con la norma de cada fertilizante (Tabla 3).



Figura 2. Hidromotor (a), Caja de velocidad (b) y transmisión al transportador sinfin (c)

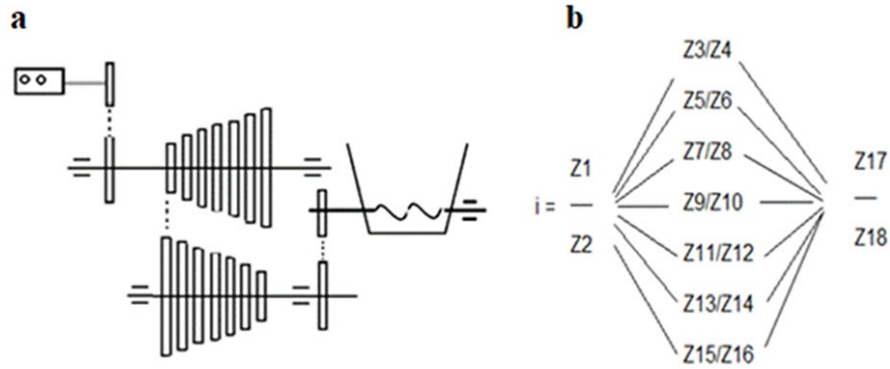


Figura 3. Cadena cinemática (a) y ecuación cinemática (b).

Tabla 2. Escalones de velocidad de la caja de cambio

	1ra	2da	3ra	4ta	5ta	6ta	7ma
Conductora, Z	16	18	20	22	24	26	28
Conducida, Z	28	26	24	22	20	18	16
Relación de transmisión, i	0,57	0,69	0,83	1	1,2	1,4	1,75
Frecuencia de rotación de salida (min^{-1})	156,7	189,7	228,2	275	330	385	481,2

Tabla 3. Modificación de la relación de transmisión

	Fertilizante (kg/min)	1ra	2da	3ra	4ta	5ta	6ta	7ma
Actual	Agromena	6,32	7,66	9,22	11,07	13,28	15,99	19,37
	Nerea	4,56	5,53	6,65	7,98	9,58	11,53	13,97
M-1	Agromena	20,50	24,83	29,89	35,87	43,05	51,82	62,78
	Nerea	14,78	17,91	21,56	25,87	31,05	37,37	45,28
M-2	Agromena	29,60	35,86	43,17	51,80	62,16	74,82	90,65
	Nerea	21,35	25,86	31,13	37,36	44,83	53,96	65,38

Con este objetivo se realiza la primera modificación de la frecuencia de rotación (rpm) de entrada de la caja M-1, que consiste en el intercambio de las ruedas quedando $Z_1=18$ y $Z_2=10$ logrando así una relación de multiplicación de $i = 1,8$ y una velocidad de giro en la entrada de la caja de 900 min^{-1} lo cual incrementa la máxima velocidad a 1575 min^{-1} . Como se puede apreciar en la tabla 3, se logra obtener para el cambio número seis el valor deseado de norma de entrega del fertilizante Nerea, no obstante, no se logra en ningún escalón de velocidad satisfacer la entrega del Agromena.

Para aumentar los valores de las revoluciones de salida que satisfagan ambos fertilizantes, se realiza una nueva modificación de la relación de transmisión M-2, dirigida a lograr el aumento de la frecuencia de rotación (min^{-1}) en la entrada a la caja de velocidad. Para ello se recalcula la transmisión mediante la ecuación cinemática incrementando el número de dientes de la rueda conductora hasta obtener los valores que satisfacen las normas de entrega para ambos fertilizantes, esto se logra para $Z_1 = 26$ y $Z_2 = 10$ y una relación de transmisión de $i = 2,6$. Los resultados de la descarga de fertilizantes para M-2 se muestran en la tabla 3, en el sexto escalón de velocidades

se entrega la norma para el Agromena y en el cuarto para el Nerea con una adecuada precisión. De este modo se garantiza además la posibilidad de aumentar o disminuir el volumen entregado de fertilizantes en ambos casos empleando los escalones de velocidad restantes y satisfacer las demandas de este tipo de fertilizante según resultados de diferentes autores (González-Cueto et al., 2025b; Hamed et al., 2025).

Determinación de la capacidad de la tolva

En la figura 4 se muestra el diseño original de la tolva de la fertilizadora TATU, el volumen de carga de cada una es de $0,35 \text{ m}^3$. Como resultado del aumento de la norma de entrega tiene lugar una disminución en la disponibilidad del fertilizante y como consecuencia la necesidad de realizar un mayor número de recargas durante la aplicación del mismo. El cálculo de la capacidad de la tolva para satisfacer la entrega se realiza bajo el criterio de mantener la relación entre la entrega y volumen de la tolva, garantizando así los parámetros originales de diseño de la máquina según recomendación de autores como (Cañavate et al., 1989; Ortiz, 2019).

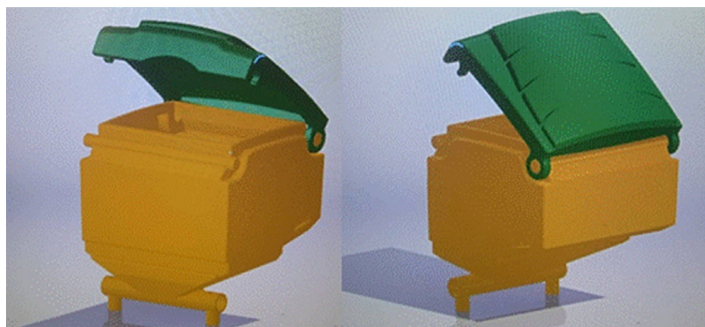


Figura 4. Tolva de la fertilizadora TATU-M.

Con las dimensiones actuales de la tolva, para aplicar un fertilizante con densidad promedio de 1 kg/cm^3 , se pueden cargar hasta 350 kg. Por tanto, con la norma estandarizada máxima actual de 18 kg/min, el tiempo de descarga de la tolva es de 19,4 min. Manteniendo una velocidad de aplicación en la máquina de 7 km/h se logra realizar un recorrido de 2250,4 m que representa 22,5 surcos en campos típicos de 1 ha con distancia de camellón de 1,60 m. Finalmente se logra fertilizar por cada tolva un área de 0,36 ha para un total en la máquina de 0,72 ha.

Con el incremento de la norma de entrega a 74,6 kg/min para el caso del fertilizante Agromena el cual posee además una densidad de $1,3 \text{ kg/cm}^3$, es posible llenar la tolva solo con 270 kg, los cuales se descargan en 3,6 min, lo que permite un recorrido de 417,6 m, esto representa un área de 0,14 ha en total. Con esta capacidad de trabajo se afectan los principales parámetros de explotación de la máquina, incrementándose los tiempos de preparación, traslado, carga y tiempo de campo.

Para lograr indicadores de explotación en correspondencia con los parámetros originales de la máquina se propone el aumento de la capacidad de carga de la tolva de tal modo que se mantenga un tiempo de descarga de 20 min, lo cual representa cargar la tolva con 1,5 t lo que implica aumentar el volumen de la misma a $1,1 \text{ m}^3$.

No obstante, como consecuencia del aumento del volumen total a 3 t, se incrementa la potencia necesaria para manejo y la presión que ejerce sobre el eje trasero del tractor. De igual modo sería necesario evaluar el desempeño del transportador sinfin y la capacidad de los conductos para depositar el volumen al suelo considerando un aumento en el caudal de salida lo cual puede incrementar la presión en el interior de los conductos.

CONCLUSIONES

El mecanismo dosificador de intercambio por ruedas de cadenas en la fertilizadora TATU-M posee una relación de transmisión entre 0,57 y 1,75, lo que resulta insuficiente para entregar la dosis necesaria de fertilizantes órgano-minerales Nerea y Agromena.

La dosificación adecuada para aplicar las normas de entrega de los fertilizantes Nerea o Agromena se logra al modificar el número de dientes de la rueda del hidromotor y su intercambio con la del árbol de entrada de la caja de velocidad.

El aumento de la capacidad de carga de la tolva de $0,35 \text{ m}^3$ a $1,1 \text{ m}^3$ posibilita una adecuada capacidad de campo de la máquina y el mantenimiento de sus parámetros de explotación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAÑAVATE, J. O.; MARTOS, J. L. H.; ALTISENT, M. R.: *Las máquinas agrícolas y su aplicación*, 488pp., Mundi-Prensa, ISBN: 9788-4711-40852, 1989.
- CHEN, J.; YANG, J.; LI, X.; WANG, C.; ZHAO, L.; ZHANG, P.; C. LI: "The Effects of Biochar-Based Organic Fertilizer and Mineral Fertilizer on Soil Quality, Beet Yield, and Sugar Yield", *Agronomy*, vol. 13 (9), 2023. ISSN: 2073-4395.
- FAO: *Principios y Prácticas de Prueba Y Evaluación de Máquinas Y Equipos Agrícolas (Boletines de Servicios Agrícolas de la FAO)*, 279pp., Food and Agriculture Organization of the United Nations, ISBN: 9789-2530-34581, 1994.
- GARCÍA-RAMOS, C. M.; QUIRÓS-ROQUE, V. A.; ROSALES-MENDOZA, L. E.: "Los residuos generados en la producción de la industria azucarera en los últimos 25 años", *Revista iberoamericana de bioeconomía y cambio climático*, vol. 8 (16): 79-91, 2022. ISSN: 2410-7980.
- GONZÁLEZ-CUETO, O.; GARCÍA-VALERA, M.; LÓPEZ-BRAVO, E.; AGUILA-ALCANTARA, E.; PINEDA-RUIZ, E.; ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ, U.: "Physical properties of AGROMENAS-G and NEREA fertilizers produced at the Empresa Geominera del Centro", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 34, 2025a. ISSN: 2071-0054.
- GONZÁLEZ-CUETO, O.; HERNÁNDEZ-SOLARES, A.; LÓPEZ-BRAVO, E.; GONZÁLEZ-NUÑEZ, J. C.; GATO-MARTÍNEZ, I.; CRUZ-DÍAZ, M.; GARCÍA-PEDRAZA, L.: "Calibration of fertilizers for application of AGROMENAS-G and NEREA to sugarcane", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 34, 2025b. ISSN: 2071-0054.
- GONZÁLEZ-CUETO, O.; SALCERIO-SALABERRY, R. A.; SORIANO-ALONSO, E. Y.; MERLÁN-MESA, G.; LÓPEZ-BRAVO, E.; HERRERA-SUÁREZ, M.: "Caracterización de la fertilizadora ID-David

- para la aplicación mecanizada del abono órgano mineral Agromena-G", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 32 (1), 2023. ISSN: 2071-0074.
- HAMED, L.; ELGEZERY, M.; ABOU HUSSEIN, E.; FAIYAD, M. N.; EMARA, E.; ABDEL-HAKIM, S.: "Role of nano-mineral fertilizers in sugar beet growth and environmental sustainability in sandy soils", *Pedosphere*, vol., 2025. ISSN: 1002-0160.
- ORTIZ, R.: *Fertilización Sostenible en Cañaverales Cubanos*, Editorial Agroecológica, ISBN: 2019.
- PALACIOS, O.; MEJÍA, E.; SÁNCHEZ, H.: "La frescura de la caña de azúcar", *Agrociencia*, vol. 45 (17), 2011. ISSN: 2521-9766.
- SÁNCHEZ, J. L.; GONZÁLEZ, R.: *Tecnología de Aplicación de Fertilizantes en Agricultura*, Ediciones AgroTécnicas, ISBN: 2018.
- TORRES-SANDOVAL, J.; ROMANTCHIK-KRIUCHKOVA, E.; LÓPEZ-CRUZ, I. L.; LÓPEZ CANTEÑS, G. D. J.: "Sistema mecatrónico para controlar el dosificador de semilla y presión de vacío de una sembradora-fertilizadora", *Revista fitotecnia mexicana*, vol. 46 (4): 439-449, 2023. ISSN: 0187-7380.
- WANG, J.; LUO, Z.; LI, J.; LI, J.; XU, M.: "Fertilization decreases microbial CUE via enhancing soil properties and microbial respiration in coal mine reclamation area", *Applied Soil Ecology*, vol. 211: 106145, 2025. ISSN: 0929-1393.