



Influence of Conservation Agriculture on Physical-Chemical Properties of Soil under Irrigated Rice Cultivation

Influencia de la Agricultura de Conservación sobre propiedades del suelo bajo cultivo de arroz irrigado

MSc. Calixto Domínguez-Vento*, MSc. Guillermo Díaz-López^{II}; MSc. Dunieskyi Domínguez-Palacio^{III}; Dr.C. Alexander Miranda-Caballero^{IV}; Dr.C. Carmen Duarte-Díaz^V; Dr.C. Michel Ruiz-Sánchez^{II}; MSc. Amaury Rodríguez-González^V; MSc. Rafael Martín-Fernández^I

^I Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), UCTB Pinar del Río, Cuba.

^{II} Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Unidad Científico Tecnológica de Base Los Palacios (UCTB-LP), Los Palacios, Pinar del Río, Cuba.

^{III} Instituto de Suelos, Pinar del Río, Cuba.

^{IV} Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^V Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba.

ABSTRACT. Empirical and scientific evidence from different parts of the world has determined that the concepts and principles of Conservation Agriculture (CA) are universally valid. However, in irrigated rice cultivation, there are still few studies carried out and there is significant variability in the information on its effect on the soil and the agricultural yield of the crop, depending on the type of soil. The objective of this work was to evaluate the effect of CA on some physical and chemical properties of a Gleysol Ferruginous nodular soil dedicated to the cultivation of irrigated rice. The research was conducted in an area of 2.63 ha in which the three basic principles of the CA were implemented. The results show that, after four cycles of planting under the CA, an increase in organic matter from 2,41 to 3,66 % occurs with respect to the base line. In addition, the total porosity was increased in 9,51 %, the apparent density decreased to 4,0 g.cm⁻³ and the penetration resistance was reduced from 4,29 to 3,01 MPa, showing the favorable effect of CA on the soil.

Keywords: zero tillage, organic matter, soil bulk density.

RESUMEN. La evidencia empírica y científica de diferentes partes del mundo ha demostrado que los conceptos y principios de la Agricultura de Conservación (AC) son de validez universal. Sin embargo, en el cultivo del arroz irrigado, aún son pocos los estudios realizados y existe una variabilidad significativa en la información sobre su efecto en el suelo y el rendimiento agrícola del cultivo, en función del tipo de suelo. El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto de la AC en algunas propiedades físicas y químicas de un suelo Gleysol Nodular Ferruginoso dedicado al cultivo del arroz irrigado. La investigación se realizó en un área de 2,63 ha en la que se implementaron los tres principios básicos de la AC. Los resultados demuestran que luego de cuatro ciclos de siembra la AC produce como tendencia un incremento de la materia orgánica de 2,41 a 3,66 % respecto a la línea base, la porosidad total se incrementó en 9,51 %, la densidad aparente disminuyó en 4 g.cm⁻³ y la resistencia a la penetración se reduce de 4,29 a 3,01 MPa, evidenciando el efecto favorable de la AC sobre el suelo.

Palabras clave: labranza cero, materia orgánica, densidad aparente.

*Author for correspondence: Calixto Domínguez-Vento, e-mail: esp-iagric@dlg.pri.minag.gob.cu

Received: 13/11/2019.

Approved: 14/06/2020.

INTRODUCTION

In Cuba, rice is the most common food in the diet of Cubans, with a national demand of 700 thousand tons and an average consumption rate of more than 70 kg per person per year. However, national production only guarantees 40 percent of these demand, so the government is obliged to import more than 400,000 tons of rice annually (Reyes, 2019).

In that context, since 2012, a comprehensive development program has been carried out that anticipates, before 2030, guaranteeing 85 % of the national demand, with the incorporation of new areas, the introduction of modern technology and the gradual increase of yield in the fields, with the purpose of replacing imports. That effort contributed to reach in 2018 more than 300,000 tons, the largest historical record of rice production in our country (Reyes, 2019).

The rice is mainly cultivated in Cuba by traditional way, cultivation based on the disc harrow and permanent flooding, which contributes to soil degradation. In the current conditions of climate change, rice production must adapt to provide food to the population in a sustainable way and, at the same time, it needs to conserve and improve the soils.

Los Palacios Municipality, in Pinar del Río Province, is one of the main rice producers in the country. In that region, the crop is affected by the low physical and chemical fertility of the soils, their compaction and bad drainage, among other factors (Pozo *et al.*, 2017 and Pérez *et al.*, 2018).

A viable alternative may be the adoption of a climate-smart agricultural system like CA. The FAO cited by Kassam, (2018) defines CA as an agricultural system that is characterized by three fundamental principles: keep the soil permanently covered with crop residues or vegetation covers for at least 30%, a minimum disturbance of soil and a diversification of species grown in rotation.

Globally, CA is used with good results in approximately 180.4 million hectares worldwide, mainly in countries such as the United States, Brazil, Argentina, Canada and Australia, in soils that vary from 90 % of sand in Africa and Australia, to 80 % of clay in Brazil, and it can be applied to all crops. Even some South American countries like Argentina, Brazil, Paraguay and Uruguay, are using it in more than 70 % of their total cultivation area with experiences of transforming degraded areas into productive agricultural land (Kassam *et al.*, 2018).

But, in the cultivation of irrigated rice, there are still few studies (Martins *et al.*, 2017) and CA adoption rates in the leading countries are low. On the other hand, although there is a good acceptance in researchers and farmers in Brazil, China and India (Huang *et al.*, 2018; Kaur and Singh, 2017 and Landers, 2018), there is a significant variability in the information on the effect of CA in different types of soil, and in Cuba, there is no practical experience on that way.

However, the determination of properties sensitive to soil use and management practices, such as organic matter, bulk density, porosity and resistance to penetration (Soracco *et al.* 2018, Gómez *et al.*, 2018, Singh *et al.*, 2017 and Issaka *et al.*, 2019) can be an effective tool to evaluate

INTRODUCCIÓN

En Cuba, el arroz es el alimento más común en la dieta de los cubanos, con una demanda nacional de 700 mil toneladas y un índice de consumo promedio de más de 70 kg por persona al año. Sin embargo, la producción nacional solo garantiza el 40 por ciento de esa demanda, por lo que el país está obligado a importar más de 400.000 toneladas de arroz anualmente (Reyes, 2019).

Ante esta situación, desde el año 2012 se lleva a cabo un programa integral de desarrollo que prevé antes del 2030 garantizar el 85 % de la demanda nacional, con la incorporación de nuevas zonas, la introducción de tecnología moderna y el incremento gradual del rendimiento en los campos, con el propósito de sustituir las importaciones, lo que contribuyó a alcanzar en 2018 más de 300 000 toneladas, el mayor registro histórico de producción de arroz en el país (Reyes, 2019).

Sin embargo, a pesar de la importancia del cultivo del arroz para Cuba, se cultiva mayoritariamente de forma tradicional, labranza basada en la grada de discos e inundación permanente, lo que contribuye a la degradación de los suelos. En las condiciones actuales de cambio climático, la producción arrocería en Cuba debe adaptarse para proveer de alimentos a la población de manera sostenible y a la vez necesita conservar y mejorar los suelos.

El municipio Los Palacios, en la Provincia de Pinar del Río, es uno de los principales productores de arroz en el país, pero la producción arrocería del territorio, es afectada por la baja fertilidad física y química de los suelos, la compactación y el mal drenaje, entre otros factores (Pozo *et al.*, 2017; Pérez *et al.*, 2018).

Una alternativa viable puede ser la adopción de un sistema agrícola climáticamente inteligente como la AC. La FAO citado por Kassam *et al.* (2018) define la AC como un sistema agrícola que se caracteriza por tres principios fundamentales: mantener permanente el suelo cubierto con restos de cosecha o cubiertas vegetales al menos en un 30 %, una perturbación mínima del terreno y una diversificación de las especies cultivadas en rotación.

Mundialmente la AC es utilizada con buenos resultados en aproximadamente 180.4 millones de hectáreas en todo el mundo, fundamentalmente en países como Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá y Australia. En suelos que varían desde 90 % de arena en África y Australia, hasta 80% de arcilla en Brasil, pudiendo aplicarse a todos los cultivos. Incluso en países de América del Sur (Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay) la están utilizando en más del 70 % de su área de cultivo total. Con experiencias de restauración de áreas degradadas a tierras agrícolas productivas (Kassam *et al.*, 2018).

Pero en el cultivo del arroz irrigado aún son pocos los estudios realizados según Martins *et al.* (2017) y las tasas de adopción en los países de vanguardia son bajas. Por otro lado, aunque se nota buena aceptación en investigadores y productores de Brasil, China y la India según Kaur y Singh (2017); Huang *et al.* (2018); Landers (2018), existe una variabilidad significativa en la información sobre el efecto de la AC en diferentes tipos de suelo, y en Cuba, no existe experiencia práctica de su aplicación.

Sin embargo, la determinación de propiedades sensibles al uso del suelo y las prácticas de manejo, como la materia orgánica, la densidad aparente, la porosidad y la resistencia a la penetración según Singh *et al.* (2017); Gómez *et al.* (2018); Soracco *et al.* (2018); Issaka *et al.* (2019), puede ser una herramienta eficaz para evaluar el efecto de la AC en el suelo. Es el objetivo del presente trabajo evaluar el efecto de la AC

the effect of CA in the soil. The objective of the work is to evaluate the effect of CA on some physical and chemical properties of a Gleysol Nodular Ferruginoso soil dedicated to irrigated rice cultivation.

MATERIALS AND METHODS

The research was carried out between 2017 and 2019, in an area of 2,63 ha, in The Unidad Científica Tecnológica de Base, Los Palacios, belonging to Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), Pinar del Río Province, in a Gleysol Nodular Ferruginoso Soil (Hernández *et al.*, 2015) with more than 20 years under intensive rice cultivation.

The soil is characterized by a texture of sandy loam on the surface horizon, grayish brown in color, 15 cm thick and abundant pellets. The effective depth of the soil is 17 cm, where a ferruginous hard-pan appears. It is a soil with very low natural fertility and poor internal drainage, suitable for growing rice (Díaz *et al.*, 2009).

To implement the basic principles of conservation agriculture in January 2017, a traditional tillage was carried out, based on the disc harrow, which consisted of breaking, crossing and fluffing the soil and leveling. Subsequently, the soil was scarified and left fallow for 170 days, then an herbicide (glyphosate at a rate of 3 l / ha) was applied. The existing plant material was settled and after 7 days corn was seeded. Subsequently, the sowing of rice was carried out for two consecutive seasons, followed by corn (Table 1).

en algunas propiedades físicas y químicas de un suelo Gleysol Nodular Ferruginoso dedicado al cultivo del arroz irrigado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó entre los años 2017 y 2019, en un área de 2,63 ha, en la Unidad Científica Tecnológica de Base, Los Palacios, perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), situada en el Municipio Los Palacios, provincia de Pinar del Río, en un suelo Gleysol Nodular Ferruginoso según Hernández *et al.* (2015), con más de 20 años bajo cultivo intensivo del arroz.

El suelo se caracteriza por una textura en el horizonte superficial loam arenoso, de color pardo grisáceo con 15 cm de espesor y abundantes perdigones. La profundidad efectiva del suelo es de 17 cm, donde aparece un hard-pan ferruginoso. Es un suelo de muy baja fertilidad natural y mal drenaje interno, adecuado para el cultivo del arroz (Díaz *et al.*, 2009).

Para implementar los principios básicos de la agricultura de conservación en enero del 2017 se realizó una labranza tradicional, basada en la grada de discos, que consistió en rotura, cruce y mullido del suelo, para garantizar suficiente suelo suelto y realizar la nivelación del campo. Posteriormente se escarificó el suelo y se dejó en barbecho por 170 días, luego se aplicó herbicida (glifosato a razón de 3 L/ha), se realizó el acamado del material vegetal existente, a los 7 días, y se procedió a la siembra de maíz. Seguidamente se efectuó la siembra de arroz por dos campañas consecutivas y finalmente, de maíz nuevamente. La secuencia de labores empleadas para la siembra, los medios mecanizados utilizados y la profundidad que alcanzó cada labor se muestran en la Tabla 1.

TABLE 1. Till technology used for rice seeding
TABLA 1. Tecnología de preparación de suelos empleada para la siembra de arroz (labranza cero)

No.	Crops	Work	Aggregation		Working depth, cm
			Tractor	Implement	
1	Rice-Corn	Herbicide application	MTZ- 80	Spraying	-
2	Rice-Corn	Crop residues covering	Belarus 572	Rollo GENOVESE	-
3 A	Rice	Sowing	YTO 1204	Baldan seed drill SPD-5000	2.0
3 B	Corn	Sowing	Belarus 572	VENCE TUDO seed drill	2.0

The bulk density of the soil was determined in undisturbed samples, taken 98 cm³ cylinders, following the Cuban standard procedures (NC ISO 10272, 2003). The real density was determined following the Cuban standard procedures (NC ISO 11508, 2000). For each horizon, three replicates were taken for both determinations. The total porosity was estimated from the bulk density and the real density according to the Cuban standard procedure (NC 20, 2010). The natural humidity of the soil was determined by the gravimetric method, according to the Cuban standard procedure (NC 110, 2010). The organic matter was determined by the colorimetric method described in NC 51, 1999.

The penetration resistance (Rp) was determined by Eijkelkamp manual penetrometer Model: P.O. Box 4, 6987 ZG Giesbeek, Dutch-made, equipped with an 11.28 mm diameter conical tip and 1cm² base area. The instrument is

La densidad aparente del suelo se determinó en muestras no disturbadas, tomadas en cilindros de 98 cm³, siguiendo norma cubana NC ISO 10272: 2003, (2003). El peso específico se determinó siguiendo norma cubana NC ISO 11508: (2000). Por cada horizonte se tomaron tres replicas para ambas determinaciones. La porosidad total fue estimada a partir de la densidad volumétrica y el peso específico, según norma cubana NC 20: 2010 (2010). La humedad natural del suelo se determinó por el método gravimétrico, según norma cubana NC 110: 2010 (2010). La materia orgánica se determinó por el método colorimétrico, descrito en norma cubana NC 51: 1999 (1999).

Para determinación la resistencia a la penetración (Rp) del suelo se utilizó un penetrómetro manual Eijkelkamp Modelo: P.O. Box 4, 6987 ZG Giesbeek, de fabricación Holandesa, equipado con una punta cónica de 11.28 mm de diámetro y área base de 1cm². El instrumento es capaz de registrar valores de 100-1000

capable of registering values of 100-1000 N, from 1 to 50 cm in depth, with an appreciation of $\pm 8\%$. Measurements of resistance to soil penetration were carried out together with moisture and density tests.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows the bulk density values obtained per soil depth for the different moments of the study. After two years and four planting cycles under the principles of CA, it is observed a trend of increasing bulk density as soil depth increases and decreasing soil bulk density values over time, for the three depth levels evaluated.

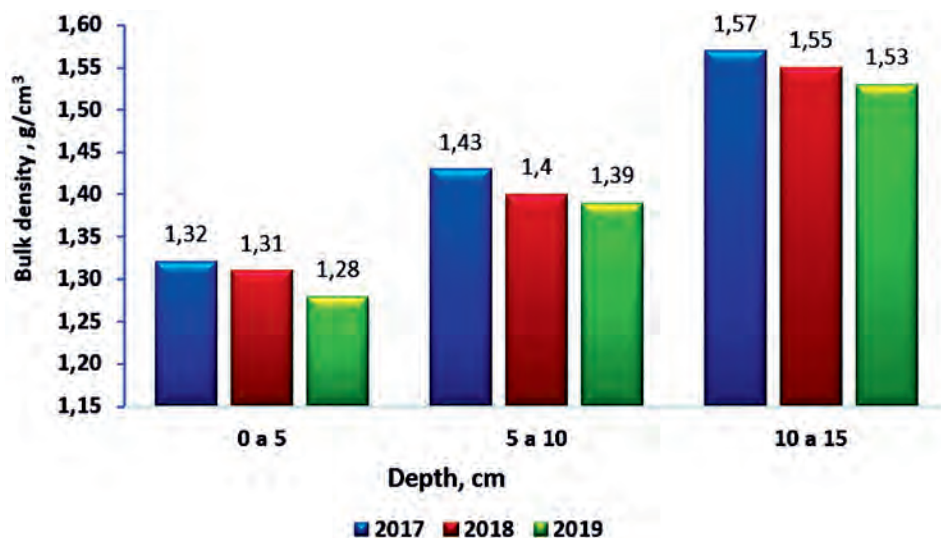


FIGURE 1. Bulk density of the soil at different evaluation times.
FIGURA 1. Densidad aparente del suelo en diferentes momentos de evaluación.

The bulk density values obtained are higher than those obtained by Díaz *et al.* (2009) in the same soil ($1,18 \text{ g cm}^{-3}$), but with more than 15 years of non-disturbance. They suggest for the good development of the crop of rice in the soil Hydromorphic Gley Nodular Ferruginous, bulk density values below $1,20 \text{ g m}^{-3}$, with a critical value of $1,26 \text{ g m}^{-3}$, which they associated with yield losses from 15 to 70%. On the other hand, they are lower than those found by Pozo *et al.*, (2017) when studying the same type of soil, under intensive cultivation of rice for more than 50 years, which were $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ for the open texture horizons and $1,83 \text{ g cm}^{-3}$ in those with clay texture.

The increase in the values of bulk density with the increase in depth is a normal behavior in cultivated soils, and coincides with results published by other authors in different types of soil (Becerra, 2005 and Herrera *et al.*, 2017). Similarly, Sánchez *et al.* (2003), suggest that the density of the soil increases with the crop cycle, which justifies the existence of such high values in 2017, even after two and a half years of the soil being fallowed, and also corroborates the state of degradation of this rice soil.

On the other hand, the behavior of bulk density in no-tillage systems, as well as during the transition process from a traditional system to a no-tillage system, has produced con-

N, desde uno hasta 50 cm de profundidad, con una apreciación de $\pm 8\%$. Las medidas de la resistencia a la penetración del suelo se efectuaron acompañadas de pruebas de humedad y densidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestran los valores de D_a obtenidos por profundidad de suelo para los diferentes momentos de estudio. Transcurrido dos años y cuatro ciclos de siembra bajos los principios de la AC, se observa como tendencia, el incremento de la D_a con el aumento de la profundidad del suelo y la disminución de los valores de D_a del suelo en el tiempo, para los tres niveles de profundidad evaluados.

Los valores de D_a obtenidos son superiores a los obtenidos por Díaz *et al.* (2009), en el mismo suelo ($1,18 \text{ g cm}^{-3}$), pero con más de 15 años si disturbar, quienes sugieren para el buen desarrollo del cultivo de arroz en el suelo Hidromórfico Gley Nodular Ferruginoso, valores de D_a por debajo de $1,20 \text{ g m}^{-3}$, con un valor crítico de $1,26 \text{ g m}^{-3}$, el cual asociaron con pérdidas en el rendimiento desde 15 hasta 70%. Por otro lado, son inferiores a los encontrados por Pozo *et al.* (2017) al estudiar el mismo tipo de suelo, bajo cultivo intensivo de arroz por más de 50 años, $1,6 \text{ g cm}^{-3}$ para los horizontes de textura franca y $1,83 \text{ g cm}^{-3}$ en los de textura arcillosa.

El incremento de los valores de D_a con el aumento de la profundidad, es un comportamiento normal en suelos cultivados, y coincide con resultados publicados por otros autores en diferentes tipos de suelo (Becerra *et al.*, 2005; Herrera *et al.*, 2017). De igual forma Sánchez *et al.* (2003), plantea que la densidad del suelo se incrementa con el ciclo de cultivo, lo que justifica la existencia de valores tan elevados (2017) aun después de dos años y medio de permanecer el suelo en barbecho, y además corrobora el estado de degradación de este suelo arrocero.

Por otro lado, el comportamiento de la densidad aparente en sistemas de no laboreo, así como durante el proceso de transición de un sistema tradicional a uno de no laboreo ha arrojado resultados contradictorios. Generalmente, en experimentos de larga duración con más de 5 años, se reporta un incremento de la densidad aparen-

tradictory results. Generally, in long-term experiments with more than 5 years, an increase in bulk density is reported in rice soils planted with zero tillage. In this regard, Bonilla and Murillo (1998) affirm that the opposite can occur when the soil has a clayey texture or a high content of organic matter. However, Singh *et al.* (2017), in a similar three-year study, in northeast India on loamy soil, reported significantly lower soil bulk density and concluded that the adoption of CA can improve the productivity of the system, and the sequestration of C and N in the rice fields. Analogous behavior, obtained by Issaka *et al.*, (2019) in Ghana, evaluating the effect of zero tillage on a Gleysol soil, for two years and they report a decrease in bulk density from 1,56 to 1,32 g.cm⁻³.

Total Porosity (Pt)

The behavior of soil Pt is showed in Figure 2. As a tendency, an increase in Pt values is observed at different depth levels, with respect to base line, which indicates a favorable effect of CA on this property. Furthermore, it can be seen that Pt decreases abruptly with increasing soil depth up to 15 cm. This behavior may be associated with the intensive cultivation of irrigated rice for more than 20 years, where efforts are made to reduce the infiltration of water into the soil to maintain a layer of water permanently.

te en suelos arroceros sembrado con cero labranzas. Al respecto, Bonilla y Murillo (1998) afirman que puede ocurrir lo contrario cuando el suelo posee una textura arcillosa o un elevado contenido de materia orgánica. Sin embargo Singh *et al.* (2017), en un estudio similar de tres años de duración, en el noreste de la India en un suelo franco, registraron una densidad aparente del suelo significativamente más baja y concluyeron que la adopción de la AC puede mejorar la productividad del sistema, y el secuestro de C y N en los arrozales. Comportamiento análogo, obtuvieron Issaka *et al.* (2019) en Ghana, evaluando el efecto de la cero labranza en un suelo Gleysol, similar al nuestro, durante dos años, reportando una disminución de la Da de 1,56 a 1,32 g.cm⁻³.

Porosidad total (Pt)

El comportamiento de la Pt del suelo se expone en la (Figura 2). Como tendencia se observa un incremento en los valores de Pt en los diferentes niveles de profundidad, respecto a la línea base, lo que indica un efecto favorable de la AC en esta propiedad del suelo. Además, se puede apreciar que la Pt disminuye bruscamente con el incremento de la profundidad del suelo hasta 15 cm. Este comportamiento puede estar asociado al cultivo intensivo del arroz irrigado por más de 20 años, donde se procura disminuir la infiltración del agua en el suelo para mantener permanentemente la lámina de agua.

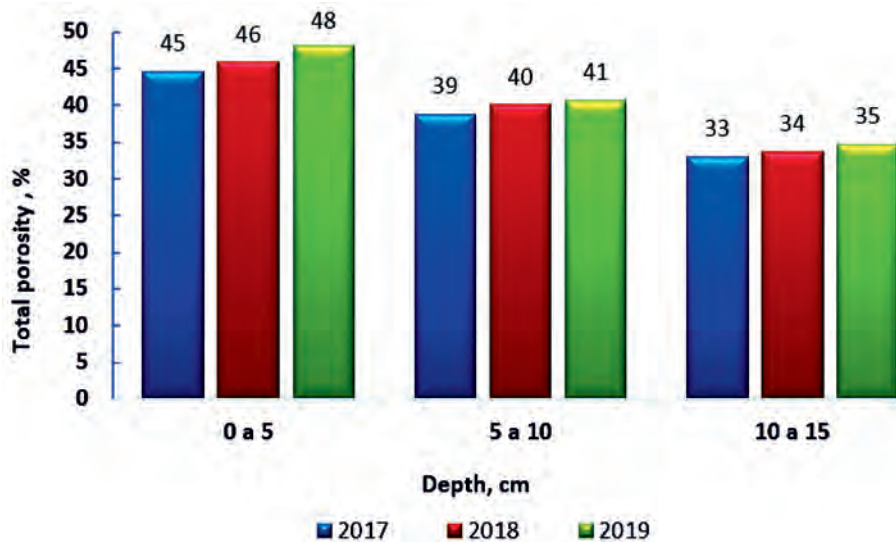


FIGURE 2. Behavior of the total porosity of the soil at different evaluation times.
 FIGURA 2. Comportamiento de la porosidad total del suelo en diferentes momentos de evaluación.

The behavior observed in the Pt coincides with a decrease in the bulk density for the different moments and depths of evaluation. This corroborates the relationship between the two properties described by other authors.

Although the results differ from the optimal Pt conditions suggested by Díaz *et al.* (2009) for rice cultivation (between 54 and 57 %), the positive effect over time of the implementation of the CA, also coincides with results obtained by Selau, (2017) in similar studies of medium and long duration, in irrigated rice production systems in Rio Grande, Brazil. Also Sasal, (2012) when studying the

El comportamiento observado en la Pt coincide con la disminución de la Da para los diferentes momentos y profundidades de evaluación. Esto se corrobora la relación existente entre ambas propiedades descrita por otros autores.

Aunque los resultados difieren de las condiciones optima de Pt sugerida por Díaz *et al.* (2009), para el cultivo del arroz (entre 54 y 57%), el efecto positivo en el tiempo de la implementación de la AC, coincide además, con lo observado por Selau (2017) en estudios similares de media y larga duración, en sistemas de producción de arroz irrigado en Río Grande, Brasil. También Sasal (2012), al estudiar la evolución estructural del suelos bajo

structural evolution of soils under the principles of CA, appreciated a general increase in total porosity. On the other hand, Becerra (2005) describes that, as the soil depth increases, the porosity decreases, which is in correspondence with the results obtained.

These results are lower than those found by Pozo *et al.* (2017) of 0-14 cm deep (54,3 %) and Nelson *et al.* (2012), while evaluating the effect of zero tillage on irrigated rice in Brazil, in a medium textured soil, determined 48 % in the depth of 0-50 cm. Instead they are similar to those found by Muñoz (2016) in Casanare, Colombia in soils under intensive rice cultivation, as monoculture for more than 20 years, with an average porosity values between 44,09 and 46,72 % and to those described by Díaz (2004) in similar soils (41,13 %).

Penetration Resistance (Rp)

Figure 3, represents the behavior of penetration resistance in relation to soil depth. The results show as a tendency to decrease in Rp values respect to 2017. The Rp decreases from 4,29 MPa to 3,01 MPa, evidencing the favorable effect of CA on the soil. Increasing Rp with increasing depth reveals soil compaction problems, which corresponds to the results of the properties described above.

The results obtained, in the years 2017 and 2018 and at a depth greater than 12 cm in 2019, show compaction problems, which constitutes a great disadvantage, considering the low fertility of these soils and their low effective depth (15 cm), so it will be necessary to keep the humidity in the soil as close as possible to the field capacity. Botta *et al.* (2015) obtained a similar result in Argentina.

principios de AC, apreció un incremento general de la porosidad total. Por otro lado Becerra *et al.* (2005), describe que a medida que aumenta la profundidad del suelo disminuye la porosidad, lo cual está en correspondencia con los resultados obtenidos.

Estos resultados son inferiores a los encontrados por Pozo *et al.* (2017) de 0-14 cm de profundidad (54,3 %) y Beutler *et al.* (2012) evaluando el efecto de la cero labranza en arroz irrigado en el Brasil, en un suelo de textura media, determinado 48 % en la profundidad de 0-50 cm. En cambio son similares a los encontrados por Muñoz (2016), en Casanare, Colombia en suelos sometidos al cultivo intensivo del arroz en forma de monocultivo por 20 años, con valores promedios de porosidad entre 44,09 y 46,72 %, y a los descritos por Díaz *et al.* (2004) en suelos similares (41,13 %).

Resistencia a la penetración (Rp)

La Figura 3 refleja el comportamiento de la resistencia a la penetración del suelo, en función de la profundidad. Los resultados muestran la tendencia a disminuir en el tiempo los valores de Rp. Como promedio para las diferentes profundidades la Rp disminuye de 4,29 MPa determinado en la línea base a 3,01 MPa, evidenciando el efecto favorable de la AC sobre el suelo. El incremento de la Rp con el incremento de la profundidad, revela problemas de compactación en el suelo, lo que se corresponde con los resultados de las propiedades antes descritas.

Los resultados obtenidos, en los años 2017, 2018 y a una profundidad mayor a 12 cm en 2019, evidencian problemas de compactación, lo que constituye una gran desventaja, temiendo en cuenta la baja fertilidad de estos suelos y la baja profundidad efectiva del mismo (15 cm), por lo que será necesario mantener la humedad en el suelo lo más próxima posible a la capacidad de campo. Resultado similar obtuvieron Botta *et al.* (2015) en Argentina.

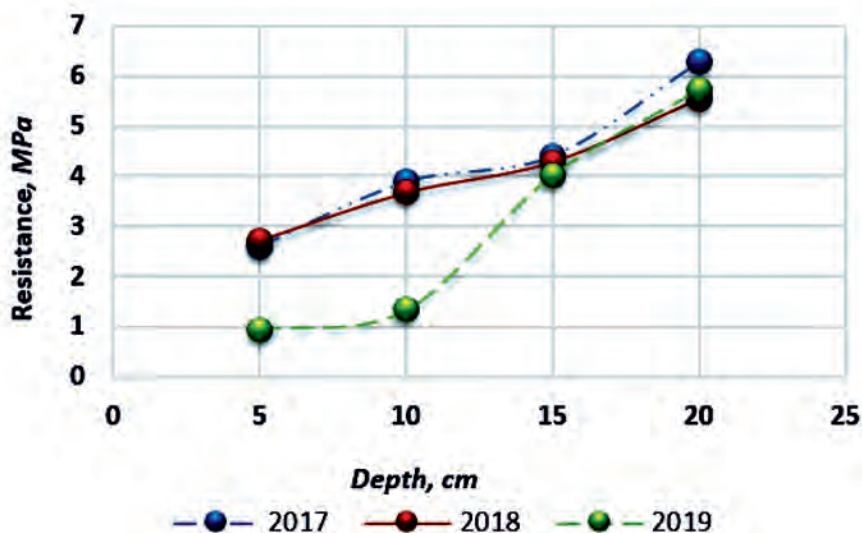


FIGURE 3. Behavior of resistance to soil penetration.
FIGURA 3. Comportamiento de la resistencia a la penetración del suelo.

Rp values greater than 2,5 MPa could produce difficulties for the root development of the crop, and may remain impeded at depths greater than 8 to 10 cm, with values greater than 3,5 MPa, according to Salazar (2002) and Micucci and Toboada (2006). However, the values observed

El aumento de la Rp con el incremento de la profundidad, a valores superiores a 2,5 MPa supone dificultades para el desarrollo radicular del cultivo, pudiendo quedar impedido aproximadamente a profundidades mayores de 8 a 10 cm, con valores superiores a 3,5 MPa, teniendo en cuenta lo observado

in 2019 up to a depth of 12 cm are considered specifically for rice cultivation.

Penetration resistance (R_p) depends on texture, bulk density, total porosity, organic matter content, and soil moisture content, and is specifically correlated with tillage systems (Afzalnia and Zabihi, 2014). The abrupt change showed in 2019 for the depth from 0 to 10 cm, may be associated with higher moisture content in the soil, increasing in organic matter, soil kept in untilled condition and 90% covered with crop residues, which favors water retention.

Organic Matter (OM)

The OM content in the soil at different moments of evaluation is shown in Figure 4. An increase in organic matter from 2,41 to 3,66 % was observed, respect to 2017, reflecting a favorable effect of CA on the soil. Although, the values corresponding to 2017 and 2018 are similar to those found by Pozo et al. (2017) at the depth of 0 -14 cm (from 2,5 to 2,7 %), which they considered adequate for this type of soil, according to clay content. In reference to the Technical Instructions for the Cultivation of Rice (2014), values above 3 % are considered normal for the development of the cultivation, so the result obtained in 2019 can be considered very good.

por Salazar *et al.* (2002); Micucci y Taboada (2006). Sin embargo, los valores observados en el 2019 hasta la profundidad de 12 cm se consideran adecuados para el cultivo del arroz.

La resistencia a la penetración (RP) depende de la textura, la densidad aparente, la porosidad total, del contenido de materia orgánica y del contenido de humedad del suelo, y se correlaciona significativamente con los sistemas de labranza (Afzalnia y Zabihi, 2014). El cambio brusco observado en 2019 para la profundidad de 0 a 10 cm, puede estar asociado a un mayor contenido de humedad en el suelo, relacionado con un incremento de la MO (Figura 4) y mantener el suelo sin labrar, cubierta la superficie en un 90 % con resto de cosecha, lo que favorece la retención de agua en el suelo.

Materia orgánica (MO)

El contenido de MO existente en el suelo en los diferentes momentos de evaluación se expone en La Figura 4. Se puede apreciar como tendencia un incremento de la materia orgánica de 2,41 a 3,66 % respecto a la línea base, reflejo de un efecto favorable de la AC sobre el suelo. Aunque, los valores correspondientes a 2017 y 2018 son similares a los encontrados por Pozo et al., (2017) en la profundidad de 0-14 cm (de 2.5 a 2.7 %), los cuales consideraron adecuados para este tipo de suelo, de acuerdo al contenido de arcilla. Según Minag (2014) y Rivero y Suárez (2015), en el Instructivo Técnico del Cultivo del Arroz, se considera normal para el desarrollo del cultivo, valores superiores al 3%, por lo que el resultado obtenido en 2019 puede considerarse muy bueno.

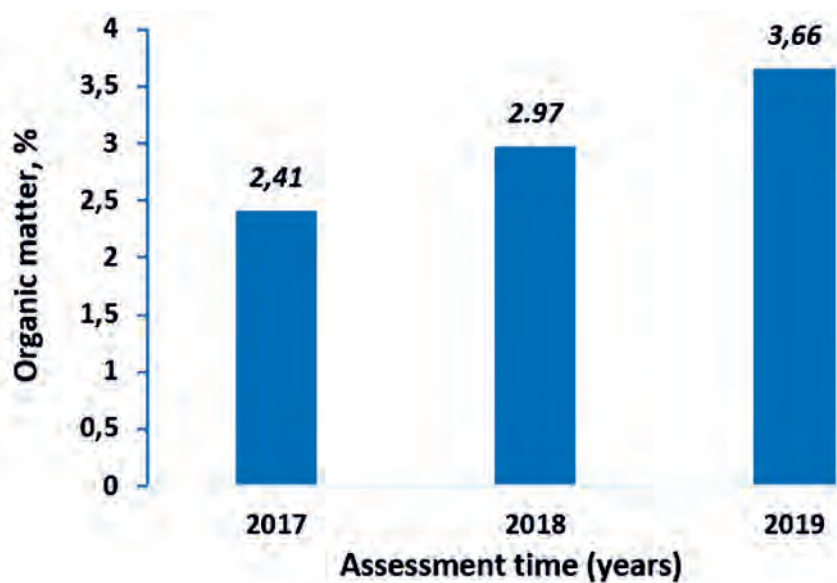


FIGURE 4. Soil organic matter content from 2017 – 2019 in soil under CA at a depth of 0-15 cm.
 FIGURA 4. Comportamiento de la materia orgánica del suelo para la profundidad de 0-15 cm.

Other authors have also found significant increases in OM in CA practices. Espinosa (2010) appreciated an increase in OM content by 16 %, below zero tillage. Da Silva et al. (2002) in soils with hydromorphic condition, dedicated to the cultivation of irrigated rice in southern Brazil, showed that with the adoption of zero-tillage systems, there was a significant accumulation of OM in the soil, in the layer 0 to 2,5 cm, whose contents observed under grasses and legumes were 66 and 48 % higher.

También otros autores han encontrado incrementos significativos de la MO en prácticas de AC, Gomes *et al.* (2002), en suelos con hidromorfismo, dedicados al cultivo del arroz irrigado en el sur de Brasil, demostraron que con la adopción de los sistemas de cero labranza hubo una significativa acumulación de MO en el suelo, en la capa de 0 a 2,5 cm, cuyos contenidos observados bajo gramíneas y leguminosas fueron de 66 y 48 % superiores. Este comportamiento está en correspondencia con

This behavior is in correspondence with the results obtained and confirms that the tillage system is one of the management practices that can significantly influence this soil property.

CONCLUSIONS

- The results show that after four sowing cycles, the CA produces an increase in organic matter from 2,41 to 3,66 % with respect to the base line, the total porosity was increased in 9,51 %, the bulk density decreased in 4 g.cm⁻³ and the penetration resistance was reduced from 4,29 to 3,01 MPa.
- Considering that the best physical, chemical and biological conditions for crops are preferably found in soils with a high OM content, the implementation of CA in the cultivation of irrigated rice can contribute to increase soil fertility.

ACKNOWLEDGEMENTS

To Dr. C. Augusto Guilherme de Araújo of the Agronomic Institute of Paraná (IAPAR), Brazil, for his valuable contribution and advice to the development of the work.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFZALINIA, S.; ZABIHI, J.: "Soil compaction variation during corn growing season under conservation tillage", *Soil and Tillage Research*, 137: 1-6, 2014, ISSN: 0167-1987.
- BECERRA, C.; MADERO, E.; HERRERA, O.; AMÉZQUITA, E.: "Caracterización espacial de la compactación en terrenos agrícolas de CIAT, Colombia", *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 8(16): 33-37, 2005, ISSN: 1682-3087.
- BEUTLER, N.A.; MUNARETO, D.J.; RAMÃO, C.J.R.; GALON, L.; DIAS, P.N.; POZZEBON, C.B.; RODRIGUES, T.A.; MUNARETO, S.G.; GIACOMELI, R.; RAMOS, V.P.: "Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado em diferentes sistemas de manejo", *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(5): 1601-1607, 2012, ISSN: 0100-0683.
- BONILLA, R.; MURILLO, J.: "Desarrollo de sistemas de manejo para la recuperación de suelos compactados de los departamentos de la Guajira, Cesar y Magdalena", En: *Encuentro Nacional de Labranza de Conservación. Memorias, Santafé de Bogotá, Encuentro Nacional de Labranza de Conservación*, Villavicencio, Colombia, pp. 195-204, 1998.
- BOTTA, G.F.; TOLÓN, B.A.; LASTRA, B.X.; HIDALGO, R.; RIVERO, D.; AGNES, D.: "Alternatives for handling rice (*Oryza sativa* L.) straw to favor its decomposition in direct sowing systems and their incidence on soil compaction", *Geoderma*, 239: 213-222, 2015, ISSN: 0016-7061.
- DÍAZ, G.; HERNÁNDEZ, T.; CABELLO, R.: "La rotación de cultivos, un camino a la sostenibilidad de la producción arrocerá", *Cultivos Tropicales*, 25(3): 19-44, 2004, ISSN: 1819-4087.
- DÍAZ, G.; RUIZ, M.; CABRERA, J.: "Modificaciones a las propiedades físicas del suelo por la acción de diferentes prácticas productivas para cultivar arroz (*Oryza sativa* L.)", *Cultivos Tropicales*, 30(3): 40-46, 2009, ISSN: 0258-5936.
- GOMES, A. da S.; PORTO, P.M.; PARFITT, B.J.M.; DA SILVA, S.C.A.; DE SOUZA, O.R.; PAULETTO, A.E.: "Rotação de culturas em áreas de várzea e plantio direto de arroz.", *Embrapa Clima Temperado*, 65, 2002, ISSN: 1516-8840.
- GÓMEZ, C.N.; VILLAGRA, M.K.; SOLORZANO, Q.M.: "La labranza mecanizada y su impacto en la conservación del suelo (revisión literaria)", *Revista Tecnología en Marcha*, 31(1): 167-177, 2018, ISSN: 0379-3982, e-ISSN: 2215-3241.
- HERNÁNDEZ, J.; PÉREZ, J.; BOSCH, I.; CASTRO, S.: *Clasificación de los suelos de Cuba 2015*, Ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), vol. 93, San José de Las Lajas, Mayabeque, Cuba, 2015, ISBN: 978-959-7023-77-7.
- HERRERA, P.J.; MARTÍNEZ, J.A.; RODRÍGUEZ, A.; CID, G.: "Efecto de dos sistemas de labranza sobre la infiltración en suelos Ferralíticos Rojos", *Revista Ingeniería Agrícola*, 7(4): 3-10, 2017, ISSN: 2306-1545, e-ISSN-2227-8761.
- HUANG, M.; ZHOU, X.; ZOU, Y.: "Improving nitrogen management for zero-tillage rice in China", *The Crop Journal*, 6(4): 406-412, 2018, ISSN: 2214-5141.
- ISSAKA, F.; ZHANG, Z.; BETANCOURT, Y.; ZHAO, Z.; AMÉZQUITA, E.; SHEKA KANU, A.B.; LI, W.; ACQUATELLA, J.: "Zero Tillage Improves Soil Properties, Reduces Nitrogen Loss and Increases Productivity in a Rice Farmland in Ghana", *Agronomy*, 9(10): 641, 2019, ISSN: 2073-4395.
- KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R.: "Global spread of Conservation Agriculture", *International Journal of Environmental Studies*, 2018, ISSN: 1029-0400.
- KAUR, J.; SINGH, A.: "Direct seeded rice: Prospects, problems/constraints and researchable issues in India", *Current agriculture research Journal*, 5(1): 13-32, 2017, ISSN: 2347-4688.

los resultados obtenidos y confirma que el sistema de labranza es un de las prácticas de manejo que pueden influir significativamente en esta propiedad del suelo.

CONCLUSIONES

- Los resultados demuestran que luego de cuatro ciclos de siembra la AC produce como tendencia un incremento de la materia orgánica de 2,41 a 3,66 % respecto a la línea base, la porosidad total se incrementó en 9,51 %, la densidad aparente disminuyó en 4 g cm⁻³ y la resistencia a la penetración se reduce de 4,29 a 3,01 MPa.
- Si se tiene en cuenta que las mejores condiciones físicas, químicas y biológicas para los cultivos se encuentran preferentemente en suelos con alto contenido de MO, la implementación de la AC en el cultivo del arroz irrigado, puede contribuir a incrementar la fertilidad del suelo.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr.C. Augusto Guilherme de Araújo del Instituto Agronómico de Paraná (IAPAR), Brasil, por su valiosa contribución y asesoría al desarrollo del trabajo.

- LANDERS, J.: "Discussion paper on eliminating puddling in rice by using zero tillage.", *Agriculture for Development*, (35): 23-30, 2018, ISSN: 1759-0604.
- MARTINS, P.A.; DENARDIN, de O.L.G.; BORIN, M.J.B.; CARLOS, S.F.; ALONSO, T.; OZÓRIO, V.B.D.; CARMONA, de C.F.; ANGHINONI, I.; CAMARGO, de O.F.A.; CARVALHO, de F.P.C.: "Short-term Impacts on Soil-quality Assessment in Alternative Land Uses of Traditional Paddy Fields in Southern Brazil", *Land degradation & development*, 28(2): 534-542, 2017, ISSN: 1085-3278.
- MICUCCI, F.G.; TABOADA, M.A.: "Soil physical properties and soybean (*Glycine max*, Merrill) root abundance in conventionally-and zero-tilled soils in the humid Pampas of Argentina", *Soil and tillage research*, 86(2): 152-162, 2006, ISSN: 0167-1987.
- MINAG: *Instructivo Técnico Instructivo Técnico del cultivo del arroz*, Ed. Instituto de Investigaciones del Arroz, Ministerio de la Agricultura, Agrinfor, La Habana, Cuba, 2014, ISBN: 959-246-037-X.
- MUÑOZ, D.A.: *Diagnóstico de la degradación de los suelos en cultivos de arroz riego intermitente y seco bajo el sistema de labranza tradicional aplicado, en los llanos del Casanare*, Universidad Nacional de Colombia, Maestría en Ingeniería Ambiental, Colombia, 2016.
- NC 20: 2010.: *Calidad de suelo. Determinación de la porosidad*, Inst. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, Vig de 2010.
- NC 51: 1999.: *Calidad de suelo. Análisis químico. Determinación del porcentaje de materia orgánica*, Inst. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, Vig de 1999.
- NC 110: 2010: *Calidad de suelo. Determinación de la humedad*, Inst. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, Vig de 2010.
- NC ISO 10272: 2003: *Determinación de la densidad aparente o peso volumétrico*, Inst. 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.
- PÉREZ, L.N.J.; DÍAZ, L.G.; CASTELL, S.; CASTRO, A.R.; MIRANDA, C.A.: "La producción arrocería frente a las variaciones del clima en la localidad "Los Palacios"", *Revista Ingeniería Agrícola*, 8(1): 26-32, 2018, ISSN: 2306-1545, e-ISSN-2227-8761.
- POZO, G.C.; CABRERA, A.J.R.; MÁRQUEZ, R.E.; HERNÁNDEZ, H.O.; RUIZ, S.M.; DOMÍNGUEZ, P.D.: "Características y clasificación de suelos Gley Nodular Ferruginoso bajo cultivo intensivo de arroz en Los Palacios", *Cultivos Tropicales*, 30(3): 40-46, 2017, ISSN: 0258-5936, e-ISSN-1819-4087.
- REYES, D.: "Del arroz en barco al arroz que cultivamos", *Periódico Granma-Cuba*, de enero de de 2019, ISSN: 0864-0424.
- RIVERO, L.; SUÁREZ, C.: *Instructivo Técnico Cultivo de Arroz*, Inst. Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales (AFTAC), La Habana, Cuba, 2015.
- SALAZAR, M.; MARÍN, C.; NAVAS, M.; TORRES, O.; GUTIÉRREZ, R.; CRESPO, J.: "Efectos del sistema de labranza en el comportamiento de cuatro variedades comerciales de arroz (*Oryza sativa* L.) en el estado Barinas, Venezuela", *Rev. Fac. Agron*, 19(3): 194-200, 2002, ISSN: 0378-7818.
- SÁNCHEZ, V.G.; OBRADOR, O.J.J.; PALMA, L.D.J.; SALGADO, G.S.: "Densidad aparente en un vertisol con diferentes agrosistemas", *Interciencia*, 28(6): 347-351, 2003, ISSN: 0378-1844.
- SASAL, M.C.: *Factores condicionantes de la evolución estructural de suelos limosos bajo siembra directa. Efecto sobre el balance de agua*, Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias, PhD. Thesis, Buenos Aires, Argentina, 2012.
- SELAU, F.: *Índices de qualidade do solo em sistemas de produção de arroz irrigado*, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, Rio Grande do Sul, RS, Brasil, 2017.
- SINGH, Y.G.; DATTA, R.; IMRAN, P.S.; LAL, R.; MEENA, M.R.; BABU, S.; DAS, A.; BHOWMIK, S.; DATTA, M.; SAHA, P.; KUMAR, P.: "Effects of conservation tillage and nutrient management practices on soil fertility and productivity of rice (*Oryza sativa* L.)—rice system in north eastern region of India", *Sustainability*, 9(10): 1816, 2017, ISSN: 2071-1050.
- SORACCO, C.G.; LOZANO, L.A.; VILLARREAL, R.; MELANI, E.; SARLI, O.G.: "Temporal variation of soil physical quality under conventional and no-till systems", *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 42, 2018, ISSN: 1806-9657, e-ISSN-0100-0683.

Calixto Domínguez-Vento, Investigador Agregado, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), UCTB Pinar del Río, Cuba, e-mail: esp-iagric@dlg.pri.minag.gob.cu

Guillermo Díaz-López, Investigador Agregado. Unidad Científico Tecnológica de Base Los Palacios (UCTB-LP), perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, carretera La Francia km1½, Los Palacios, Pinar del Río, Cuba. e-mail: gdiaz@inca.edu.cu

Duniesky Domínguez-Palacio, Investigador Agregado, Instituto de Suelos. Pinar del Río, Cuba e-mail: esp-iagric@dlg.pri.minag.gob.cu

Alexander Miranda-Caballero, Investigador Titular, Profesor Titular. Director General de Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, e-mail: alex@inca.edu.cu

Carmen Duarte-Díaz, Investigadora Titular, Profesora Titular. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: jdptoriego@iagric.cu

Michel Ruiz-Sánchez, Investigador Titular, Unidad Científico Tecnológica de Base Los Palacios (UCTB-LP), perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, carretera La Francia km1½, Los Palacios, Pinar del Río, Cuba. e-mail: mruiz@inca.edu.cu

Amaury Rodríguez-González, Investigador, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), Boyeros, La Habana, Cuba, e-mail: dptomecan8@iagric.cu

Rafael Martín-Fernández, Investigador, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (IAgric), UCTB Pinar del Río, Cuba, e-mail: esp-iagric@dlg.pri.minag.gob.cu

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.