



Geometric and Kinematic Parameters of Sensing Tips for the Soil Strength Recording

Parámetros geométricos y cinemáticos de sondas para el registro de la resistencia del suelo

Dr.C. Ernesto Ramos-Carbajal; Dr.Cs. Arturo Martínez-Rodríguez; M.Sc. Alexander Laffita-Leyva;
Ing. Julio Cesar Ayala-López

Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria,
San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. En el Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) de la Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad Agraria de La Habana, se llevó a cabo una investigación dirigida a evaluar la influencia de diferentes parámetros geométricos y cinemáticos de sondas para el sensoramiento continuo de la resistencia a la penetración del suelo, sobre la calidad del registro de este indicador en un suelo Ferralítico Rojo típico de Cuba. Los parámetros objeto de evaluación fueron: la forma geométrica de la sonda, la distancia de separación entre la sonda y la barra que la soporta, así como la velocidad de marcha. Los experimentos fueron realizados en condiciones controladas en el Laboratorio Canal de Suelos del Centro de Mecanización Agropecuaria. Como variables de control fueron tomadas muestras del índice de cono, la densidad aparente y la humedad del suelo. Como resultado de los experimentos se obtuvo que la sonda en forma de cuña prismática con ángulo de 30° y área de la base de 520 mm², avanzando horizontalmente a una velocidad no superior a 0,7 m·s⁻¹, separada de la barra soporte de la sonda una distancia igual o mayor a 110 mm, constituye la mejor alternativa, entre las variantes experimentadas, para la estimación del estado de compactación del suelo en grandes extensiones. Asimismo se determinó que la operación de sondeo debe efectuarse cuando este tipo de suelo presenta una humedad cercana al 28%.

Palabras clave: Agricultura de Precisión; índice de cono; sensores; compactación del suelo.

ABSTRACT. A research in order to evaluate the influence of several geometrical and operational parameters of sensing tips on the quality of on-the-go soil strength recording, was carried out in a Cuban typical Red Ferralitic soil. The considered parameters were the geometric characteristic of the sensing tip, the sensing speed and the protrude of the tip in front of the leading edge of the supporter shank. The experiments were carried out under controlled conditions in a Soil Chanel Laboratory of the Agricultural Mechanization Center of Havana Agrarian University. As a result was obtained that the tip with 30° wedge prismatic form and 520 mm² base area, advancing horizontally to a speed non highest to 0,7 m·s⁻¹ and protruded 110 mm or more in front of the leading edge of the supporter shank, constitutes the best alternative for “on- the -go” soil strength registration. Also it was determined that the sensing operation should be made when this type of soil presents a moisture near to 28%.

Keywords: Precision agriculture; cone index; sensors; soil compaction

INTRODUCCIÓN

Los suelos del tipo Ferralítico Rojo, caracterizados por ser altamente productivos, ocupan el segundo lugar en extensión y rendimientos agrícolas en Cuba. La explotación intensiva y continuada de estos suelos, afectada por la aplicación irracional de fertilizantes químicos, exceso de laboreo con maquinaria pesada y aplicación de riegos inadecuados, ha conducido en la actualidad a un agudo proceso de degradación física, manifestada en altos niveles de

INTRODUCTION

The soils of Red Ferralitic type are characterized to be highly productive; they occupy the second place in extension and agricultural yields in Cuba. The intensive and continuous exploitation of these soils, affected by the irrational application of chemical fertilizers, excessive laboring with heavy machinery and inefficient use of water; has driven at present time to a severe process of physical degradation. It is manifested in high

compactación que, junto a otros factores objetivos, han provocado la disminución de los rendimientos agrícolas (Hernández *et al.*, 2013).

Las operaciones de labranza dirigidas a la descompactación del suelo son costosas, ya que conllevan la penetración de los implementos a profundidades relativamente grandes, por lo que es de sumo interés en la práctica agrícola la determinación, con la mayor precisión posible, del estado de compactación del suelo y de la distribución de los perfiles de compactación a diferentes profundidades (Hall *et al.*, 2000; Khalilian *et al.*, 2002; Raper *et al.*, 2007).

En la actualidad al nivel internacional, la aplicación de métodos de la Agricultura de Precisión, basados en la aplicación de tratamientos en “sitios específicos”, constituye una de las tendencias fundamentales de la agricultura moderna, dirigida tanto a la economía de insumos, combustible y tiempo, como a la disminución de los impactos indeseables sobre el medio ambiente (Martínez *et al.*, 2011).

Diversos procedimientos y medios han sido objeto de desarrollo desde la década de los 90 dirigidos al sensado al vuelo (*on-the-fly*) o sobre la marcha (*on-the-go*) de parámetros del suelo que se utilizan como indicadores del nivel de compactación (Alihamsyah *et al.*, 1990; Glancey *et al.*, 1996; Adamchuk *et al.*, 2001, 2006; Mouazen *et al.*, 2004; Chukwu y Bowers, 2005; Hall y Raper, 2005; Andrade-Sánchez *et al.*, 2007; Hemmat *et al.*, 2009; Herrera *et al.*, 2011).

Una gran parte de los dispositivos desarrollados emplean como elemento sensor de la resistencia del suelo una cuña con un ángulo de 30°, con dimensiones en el orden de las de los conos estandarizados para la medición del índice de cono mediante penetrometros, introduciéndose el concepto de “índice de cuña” con una definición similar a la del índice de cono estándar.

Cuñas con diferentes dimensiones han sido experimentadas, determinándose la correlación del índice de cuña con parámetros indicadores de la compactación del suelo, tales como la densidad aparente del suelo y el propio índice de cono (Alihamsyah *et al.*, 1990; Chukwu y Bowers, 2005; Raper *et al.*, 2005; Hemmat *et al.*, 2009).

Los resultados obtenidos, aunque diversos, son aceptables, no obstante, no se han elaborado criterios de diseño y operación convincentes para las cuñas u otros tipos de puntas sensoras que puedan fundamentar la conveniencia de utilización de una u otra geometría. De aquí que el presente trabajo tiene como objetivo fundamentar los parámetros de diseño y operación de las sondas destinadas al sensoramiento continuo del estado de compactación del suelo.

MÉTODOS

Las investigaciones experimentales se realizaron en el laboratorio Canal de Suelos perteneciente al Centro de Mecanización Agropecuaria (CEMA) de la Facultad de Ciencias Técnicas de la Universidad Agraria de la Habana (UNAH), ubicado en el municipio de San José de las Lajas, provincia Mayabeque durante el periodo 2014 - 2015.

El suelo objeto de estudio es un Ferralítico rojo lixiviado según la última clasificación vigente en el país (Hernández *et al.*, 1999), proveniente de la zona agrícola de San José de las Lajas, en la Provincia de Mayabeque, Cuba, con un índice de plasticidad de 30,4%, comportándose como un suelo plástico (González *et al.*, 2008).

compaction levels that, together with other objective factors; have caused the decrease of the crop production (Hernández *et al.*, 2013).

The tillage operations directed to the soil decompaction are expensive, since they lead to penetration with devices to relatively big depths, for what it is of supreme interest in the agricultural practice, the most accurate determination of the soil compaction state and the distribution of the compaction profiles to different depths. (Hall *et al.*, 2000; Khalilian *et al.*, 2002; Raper *et al.*, 2007).

At present time in the international field, the application of methods of Precision Agriculture, based on the application of treatments in “specific places”, constitutes one of the fundamental tendencies of modern agriculture. It is directed towards the economy of costs, fuel and time, so as to the decrease the undesirable impacts on the environment (Martínez *et al.*, 2011).

Different procedures and means have been object of development since the decade of the 90s directed to the sensing on the flight (*on-the-fly*) or on the operating (*on-the-go*) of parameters of the soil indicators of the compaction level (Alihamsyah *et al.*, 1990; Glancey *et al.*, 1996; Adamchuk *et al.*, 2001, 2006; Mouazen *et al.*, 2004; Chukwu y Bowers, 2005; Hall y Raper, 2005; Andrade-Sánchez *et al.*, 2007; Hemmat *et al.*, 2009; Herrera *et al.*, 2011).

A great part of the developed devices uses as a sensor of the soil strength a wedge with an angle of 30°, with dimensions more or less in order of those of the standardized cones for the measurement of the cone index by means of penetrometers, introducing the concept of “wedge index” with a similar definition to that of the standard cone index.

Wedges with different dimensions have been experienced, determining the correlation of the wedge index with indicative parameters of the soil compaction, such as the bulk density of the soil and the own cone index (Alihamsyah *et al.*, 1990; Chukwu y Bowers, 2005; Raper *et al.*, 2005; Hemmat *et al.*, 2009).

The obtained results, although diverse, are acceptable; nevertheless, convincing design and operation approaches have not been elaborated for the wedges or other types of sensing tips that can support the convenience of using one or other geometry. Therefore, the present investigation has as objective to sustain the design parameters and operation of the probes for the continuous sensing of the soil compaction state.

METHODS

The experimental investigations were carried out in the laboratory Bin of Soils belonging to the Center of Agricultural Mechanization (CEMA) from the Faculty of Technical Sciences at the Agrarian University of Havana (UNAH), located in the municipality of San José de las Lajas, Mayabeque province during the period 2014-2015.

The object of study is a Lixivated Red Ferrallitic soil according to the last effective classification in the country (Hernández *et al.*, 1999), coming from the agricultural area of San José de las Lajas, in Mayabeque province, Cuba, with a plasticity index of 30,4%, behaving as a plastic soil (González *et al.*, 2008).

La instalación utilizada (Figura 1) consta de un canal de suelo (1), sobre el que se desplaza un carro porta implementos (4), al que se instala una estructura (2) para acoplar el dispositivo sensor (3). El carro porta implemento es tirado mediante el cable flexible (5) que es enrollado por el tambor (6) que recibe el movimiento del moto reductor (7).

El dispositivo sensor transmite una señal eléctrica (proporcional a la fuerza de resistencia a la penetración) del orden de los milivoltios a un amplificador extensométrico dinámico (8) KYOWA-YA-520 con módulos de amplificación del tipo DPM-602B. La señal amplificada al nivel de voltios es procesada en una tarjeta de conversión análogo-digital (9) que introduce los datos en una computadora (10), creando una base de datos con una frecuencia de muestreo de 96 000 lecturas por segundo.

The used installation (Figure 1) consists of a bin of soil (1), on which a carrying tools car moves (4), to which a structure is joined (2) to couple the sensor device (3). The carrying tools car is pulled by the flexible cable (5) which is rolled by the drum (6) and receives the movement of the reducer motor (7).

The sensor device transmits an electric sign (proportional to the penetration strength force) in the order of millivolts to a dynamic extensometer amplifier (8) KYOWA-YA-520 with DPM-602B type amplification modules. The amplified sign to volt levels is processed in an A/D converter card (9) which introduces the data in a computer (10), creating a database with a sampling frequency of 96 000 recordings per second.

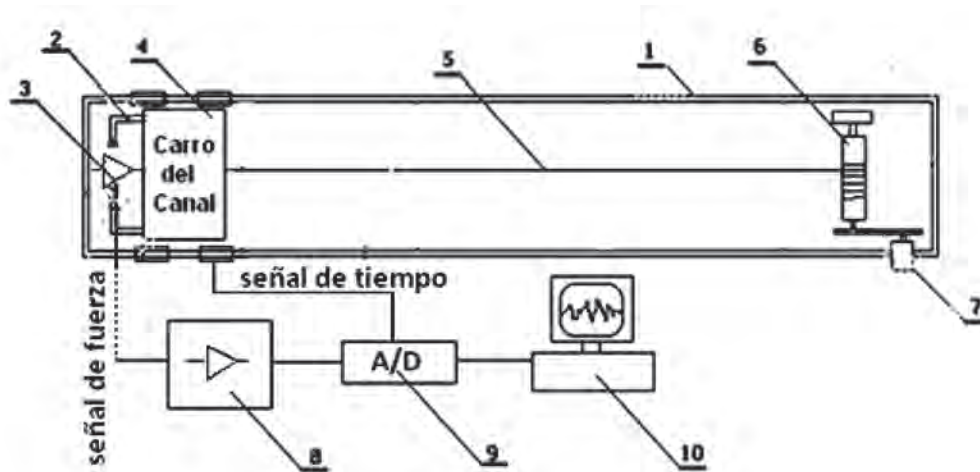


FIGURE 1. Diagram of the installation used for the test of probes during the continuous sensing of the soil strength.

FIGURA 1. Esquema de la instalación utilizada para el ensayo de sondas durante el sensoramiento continuo de la resistencia a la penetración del suelo.

El dispositivo sensor se muestra en la Figura 2 y consta de un brazo soporte (1) al que se fija una celda de carga (2) que es accionada por el vástago (3) que soporta la sonda (4), que puede ser del tipo cónica o prismática y que constituye el elemento sensor primario del sistema de medición.

The sensor device is shown in Figure 2 and it consists of a supporter shank (1) to which a load cell is linked (2), this one is pushed by the rod (3) that supports the probe (4) that can be conical or prismatic type and which constitutes the primary sensor element of the measure system.

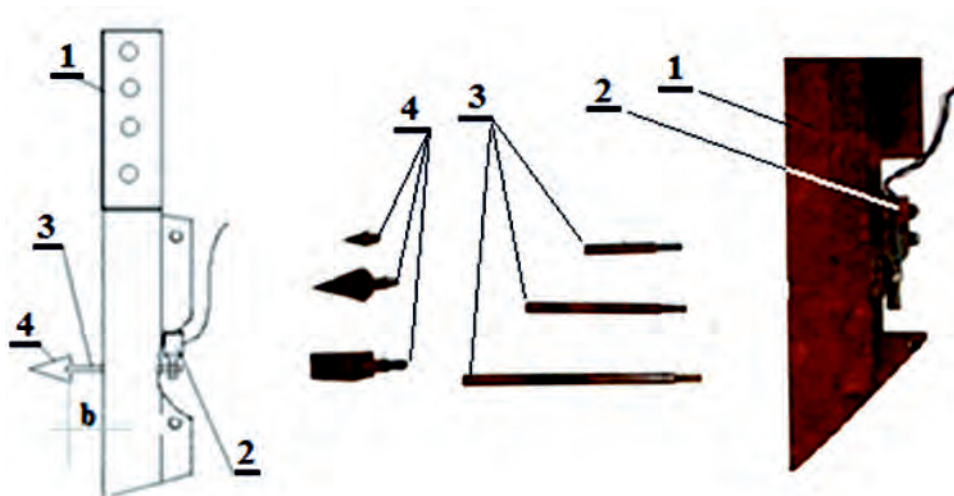


FIGURE 2. Lateral view of the probe and its components.

FIGURA 2. Vista lateral de la sonda y sus componentes.

Para determinar la velocidad de desplazamiento de la sonda, se empleó un sensor de revoluciones de tipo inductivo colocado en una de las ruedas del carro porta herramientas que emite una señal de voltaje tipo pulso por cada revolución de la rueda, lo que permite determinar de forma indirecta, el espacio recorrido y la velocidad de avance del sensor. La salida eléctrica del sensor de revoluciones se conectó a una de las entradas del conversor (A/D), obteniéndose su registro en la computadora.

Durante la investigación fueron realizados dos experimentos. Un primer experimento estuvo dirigido a evaluar la influencia de la distancia de separación entre la sonda y la barra soporte, así como de la velocidad de marcha, sobre la resistencia a la penetración captada por la sonda.

En este experimento se tomaron como variables independientes la distancia de separación b (Figura 2), entre la sonda y la barra soporte (salida de la sonda), con tres niveles (5; 50 y 110 mm) y la velocidad de marcha, con dos niveles (0,7 y 0,8 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), resultando un diseño de naturaleza factorial 2×3 ; lo que arrojó seis combinaciones de tratamientos durante las corridas experimentales. Para la delimitación de los niveles de velocidad y separación entre la sonda y la barra soporte, se tuvo en cuenta los resultados de experimentos reportados en la literatura consultada (Chung *et al.*, 2004).

El tipo de sonda empleado en todas las corridas consistió en una sonda prismática de $30^\circ \times 520 \text{ mm}^2$. La profundidad de sondeo se fijó a 0,20 m (mitad de la profundidad del suelo en el canal). Como variables de control se tomaron muestras del índice de cono (ASAE y ASABE, 1999; ASAE, 1999), en dirección vertical y de la densidad aparente a una profundidad media igual a la de los registros horizontales continuos (0,20 m).

El segundo experimento estuvo orientado a evaluar el comportamiento de sondas de diferentes formas geométricas durante el registro horizontal y continuo de la resistencia a la penetración del suelo objeto de estudio.

Para este experimento se tomaron tres formas geométricas de la sonda: una correspondiente al cono (ASAE) normalizado y dos correspondientes a las sondas que mejor correlación estadística mostraron con el índice de cono y la densidad volumétrica (cono de $30^\circ \times 520 \text{ mm}^2$ y cuña de $30^\circ \times 520 \text{ mm}^2$)¹. La velocidad de marcha y la distancia de la sonda a la barra soporte fueron tomados de acuerdo a los resultados del primer experimento. La humedad y la densidad volumétrica fueron fijadas a niveles similares a los del experimento anterior. En total resultaron tres tratamientos. Las variables de control fueron las mismas del primer experimento.

El contenido de humedad y la densidad aparente del suelo se determinaron según la norma NC 67: 2000. La determinación del índice de cono estándar (ASAE) del suelo, se efectuó con un penetrómetro digital FIELDSCOUT Modelo: SC 900 SN: 328.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los registros de la resistencia a la penetración obtenidos en el primer experimento se exponen en las Figuras 3 y 4, utilizando dos niveles de velocidad de traslación media de la sonda (0,686 y 0,867 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), humedad entre 26 y 29% y densidad volumétrica seca entre 0,95 y 1,01 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

To determine the displacement speed of the probe, an inductive type sensor of revolutions was used. It was placed in one of the wheels of the carrying tools car. It emits a voltage sign of pulse type for each wheel revolution, allowing the indirect determination of the displacement and the probe advance speed. The electric exit of the sensor of revolution was connected to one of the A/D converter card, obtaining its recording on the computer.

During the investigation, two experiments were carried out. A first experiment was directed to evaluate the influence of the protruded distance between the probe and the supporter shank, as well as of the on-the-go speed, on the strength to the penetration captured by the probe.

In this experiment, the protruded distance (b) between the probe and the supporter shank (exit of the probe) (Figure 2), with three levels (5; 50 and 110 mm) and the on-the-go speed, with two levels (0,7 and 0,8 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) were taken as independent variables. It resulted in a 2×3 factorial design, which generated six combinations of procedures during the experimental process runs. For the delimitation of the speed levels and the protruding of the probe from the supporter shank, the results of the reported tests in the consulted literature were taken into account (Chung *et al.*, 2004).

The type of probe used in all the process runs consisted on a prismatic probe of $30^\circ \times 520 \text{ mm}^2$. The operating depth was marked at 0,20 m (half of the depth of the soil in the bin). As control variables, samples of the cone index (ASAE y ASABE, 1999; ASAE, 1999), in vertical direction and samples of the bulk density to an average depth equal to that of the continuous horizontal recordings (0,20 m) were taken.

The second experiment was intended to evaluate the behavior of probes in different geometric shapes during the horizontal and continuous recording of the strength force to penetration of the soil studied.

For that test, three geometric shapes of the probe were taken: one corresponding to the standard cone (ASABE) and two corresponding to the probes, which showed best statistical correlation with the cone index and the bulk density (cone of $30^\circ \times 520 \text{ mm}^2$ and wedge of $30^\circ \times 520 \text{ mm}^2$)¹. The on-the-go speed and the protruding of the probe to the supporter shank were determined according to the results of the first test. The moisture and the bulk density were established at similar levels to those of the previous test. In total, there were three procedures. The control variables considered were equal to the first test.

The moisture content and the soil bulk density were determined according to the standard NC 67: 2000. The determination of standard soil cone index (ASAE) was made with a digital penetrometer FIELDSCOUT Model: SC 900 SN: 328.

RESULTS AND DISCUSSION

Recording results of the penetration strength force obtained in the first test are exposed in figures 3 and 4, using two levels of average speed of displacement of the probe (0,686 and 0,867 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), moisture between 26 and 29% and dry bulk density between 0,95 and 1,01 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

¹ RAMOS, E.: Fundamentación de parámetros para el diseño y operación de sondas destinadas al sensoramiento continuo de la resistencia a la penetración del suelo, Universidad Agraria de La Habana, Tesis de Doctorado, Mayabeque, Cuba, 116 p., 2015.

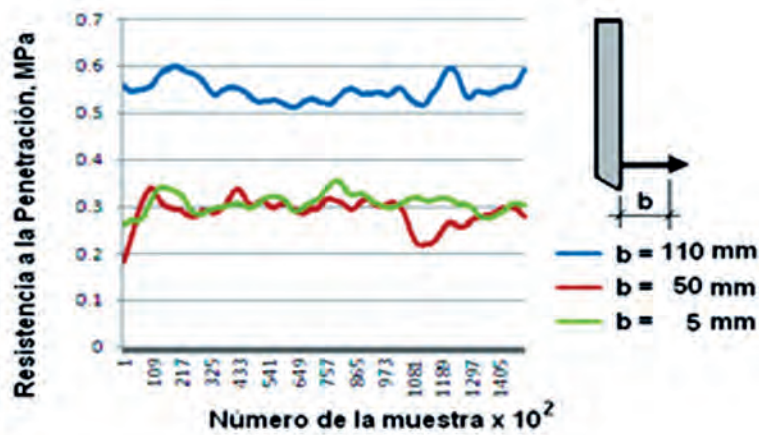


FIGURE 3. Continuous recording of the soil strength with prismatic probes 30° x 520. $H_m = 26,29\%$; $\gamma_m = 0,99 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$; $V_{m1} = 0,686 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
 FIGURA 3. Registro continuo de la resistencia a la penetración con sondas prismáticas 30° x 520. $H_m = 26,29\%$; $\gamma_m = 0,99 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$; $V_{m1} = 0,686 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

De la Figura 3, se aprecia que, a pesar de utilizarse la misma sonda, los registros de resistencia a la penetración, obtenidos con la sonda más alejada del brazo soporte ($b = 110 \text{ mm}$), alcanzaron valores medios superiores en un 52% a los obtenidos con las sondas más cercanas al brazo, lo cual evidencia que, durante su interacción con el suelo, el brazo soporte provoca una zona de remoción del suelo por delante de la sonda, que interfiere la correcta captación por ésta de la resistencia del suelo. Este resultado indica la necesidad de que la sonda sea colocada a una distancia prudencial del brazo soporte. Este efecto perturbador también fue reportado por Hemmat *et al.* (2009), durante ensayos efectuados con una sonda prismática de área de la base de 324 mm^2 y ángulo de 30° situada a 40 mm por delante del brazo soporte. De manera análoga, Raper *et al.* (2005), obtienen entre otros resultados que, tanto las dimensiones de la sonda, como la posición de colocación de ésta con respecto a la cara frontal del brazo soporte, resultan determinantes en la exactitud de las mediciones.

En la Figura 4, se observa que los tres registros, efectuados a una velocidad mayor de la sonda, se vieron afectados por la perturbación del suelo removido por el brazo soporte, incluyendo el registro de la sonda más alejada. Este resultado contrasta con los obtenidos por Chung *et al.* (2004), quienes reportaron la existencia de una velocidad crítica para el sensoramiento de $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, aunque Chukwu y Bowers (2005), reportaron obtener resultados con un nivel de significación del 5%, cuando empleaban bajas velocidades de una sonda prismática, del orden de los $0,33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

In Figure 3, it is appreciated that, in spite of using the same probe, the recordings of the soil strength obtained with the probe farther from the supporter shank ($b = 110 \text{ mm}$), reached significant values superior in 52% to those obtained with the nearest probes to the supporter shank. That evidences that, during the interaction with the soil, the supporter shank causes a removal area preceding the probe and disturbing the correct recording of the soil strength penetration. This result indicates the necessity that the probe should be placed at a prudential distance of the supporter shank. This disturbing effect was also reported by Hemmat *et al.* (2009), during rehearsals made with a prismatic probe of base area of 324 mm^2 and angle of 30° , protruded 40 mm in front of the advancing shank. In a similar way, Raper *et al.* (2005) obtain, among other results that, the dimensions of the probe, so as the placement position of this with regard to the front face of the supporter shank are decisive in the measurements accuracy.

In Figure 4, it is observed that the three recordings, made to the higher speed of the probe, were affected by the disturbance of the soil removed by the supporter shank, including the recording of the most protruded probe. This result contrasts with those obtained by Chung *et al.* (2004) who reported the existence of a critical speed for the sensing of $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, although Chukwu y Bowers (2005) reported to obtain results with a level of significance of 5%, when they used low speeds for a prismatic probe of $0,33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.



FIGURE 4. Continuous recording of the soil strength penetration with prismatic probes 30° x 520. $H_m = 29,10\%$; $\gamma_m = 0,95 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$; $V_{m2} = 0,867 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
 FIGURA 4. Registro continuo de la resistencia a la penetración con sondas prismáticas 30° x 520. $H_m = 29,10\%$; $\gamma_m = 0,95 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$; $V_{m2} = 0,867 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

De aquí se evidencia que una alta velocidad del movimiento de la sonda implicaría adoptar una mayor longitud **b** del vástago, con vistas a evitar la interferencia del brazo soporte en la lectura.

Por supuesto que una longitud excesiva del vástago conspira contra su resistencia mecánica, así como contra su rigidez y estabilidad, por lo que sería más conveniente limitar la velocidad de marcha de la sonda. Por otro lado, aumentar el diámetro del vástago resulta un inconveniente, ya que provoca un incremento de la fuerza de fricción entre el vástago y el suelo, lo cual introduce errores en el registro de la resistencia a la penetración.

Entonces, sobre la base de los resultados obtenidos en estos experimentos, se infiere que durante la selección de parámetros racionales para el diseño y operación de sondas para el registro horizontal y continuo de la resistencia a la penetración en suelos Ferralíticos Rojos, debe garantizarse una distancia mínima entre la base de la sonda y el brazo soporte de al menos 110 mm, así como no superar una velocidad de avance de $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Esta velocidad máxima resultó inferior a la recomendada ($1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) por Chung *et al.* (2004).

En la Figura 5 se muestran los resultados del segundo experimento, donde se compara el registro de la resistencia a la penetración con tres sondas de diferente geometría, pero manteniendo en los tres casos la longitud del vástago al nivel que evita la interferencia del brazo (110 mm), el mismo diámetro del vástago (10 mm) y el menor nivel de velocidad ($0,686 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), con niveles de humedad y densidad volumétrica en el mismo rango que en el experimento anterior. Como variable de control en el experimento, fueron tomadas muestras del índice de cono a la misma profundidad de las sondas horizontales (20 cm), en dirección vertical y cuasiestática, de acuerdo a las normas ASAE (1999), y ASAE y ASABE (1999).

De los registros se aprecia la obtención de valores de la resistencia a la penetración, en dirección horizontal, significativamente superiores (valor medio de $0,74 \text{ MPa}$) con el cono de dimensiones menores del área de la base (130 mm^2), con respecto a los obtenidos con la cuña y el cono de dimensiones $30^\circ \times 520 \text{ mm}^2$, lo que confirma el efecto referente a la influencia de la fricción en el vástago², la afectación que esta fuerza provoca en la lectura de la resistencia a la penetración cuando se emplean conos o cuñas con área de la base pequeña en relación al diámetro del vástago.

From that, it is evidenced that a high speed of the movement of the probe would imply to adopt a higher longitude **b** of the rod, in order to avoid the interference of the supporter shank in the recording.

Of course, the excessive longitude of the rod conspires against its mechanical strength, as well as against its stiffness and stability, so it would be more convenient to limit the on-the-go speed of the probe. On the other hand, to increase the diameter of the rod is an inconvenience, because it causes an increment of the friction force between the rod and the soil, which introduces errors in the recording of the soil strength penetration.

Then, based on the obtained results in these experiments; it is inferred that during the selection of rational parameters for the design and operation of probes for the horizontal and continuous recording of the soil strength penetration in Red Ferralitic soils, a minimum distance should be guaranteed between the base of the probe and the supporter shank of at least 110 mm. Also, a forward speed of $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ should not be surpassed. That maximum speed was inferior to the one recommended ($1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) by Chung *et al.* (2004).

In Figure 5, the results of the second experiment are shown. The recording of the soil strength penetration with three probes of different geometry is compared, but maintaining in the three cases the rod longitude to the level that avoids the interference of the shank (110 mm), the same diameter of the rod (10 mm) and the lower level of speed ($0,686 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), with levels of moisture and bulk density in the same range of the previous experiment. As control variable in the experiment, samples were taken from the index cone to the same depth of the horizontal probes (20 cm), in vertical direction and quasi-static, according to ASAE (1999), y ASAE y ASABE (1999).

From the recordings it is appreciated, that the values of the soil strength penetration, in horizontal, are significantly superior (average value of $0,74 \text{ MPa}$) with the cone of dimensions smaller than the base area (130 mm^2), compared to those obtained with the wedge and the cone of dimensions $30^\circ \times 520 \text{ mm}^2$. That confirms the effect referred to the influence of the friction in the rod and the effect this force causes in the recording of the soil strength when cones or wedges are used with area of small base in relation to the diameter of the rod.

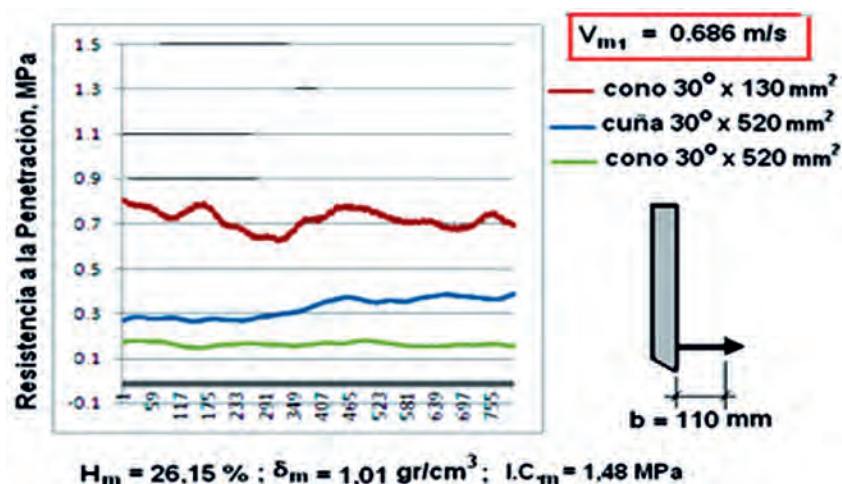


FIGURE 5. Recording of the soil strength penetration with three probes of different geometry, maintaining constant the rest of the variables.
 FIGURA 5. Registro de la resistencia a la penetración con tres sondas de diferente geometría, manteniendo constantes el resto de las variables

Asimismo puede apreciarse en la figura 5, la obtención de valores más altos de la resistencia a la penetración obtenida con la cuña, con relación a la obtenida con el cono de igual ángulo y área de la base.

Al comparar (Figura 5) el resultado de los registros de la resistencia a la penetración (de un valor medio de 0,74 MPa), obtenidos con movimiento horizontal continuo de la sonda de 30° x 130 mm² (cono ASAE) a una velocidad de 0,686 m·s⁻¹, con los resultados de las mediciones de muestreo del índice de cono (con un valor medio de 1,48 MPa) tomado en dirección vertical y a muy baja velocidad (movimiento cuasiestático), se obtiene una disminución cercana al 50% del registro horizontal continuo con relación a las mediciones verticales, efectuadas a la misma profundidad (200 mm), lo que coincide con lo reportado por Hall y Raper (2005), durante la medición horizontal continua a 100 mm de profundidad, con una sonda prismática de 625 mm² de área de la base en un suelo arenoso-limoso con un 11% de arcilla.

CONCLUSIONES

- Se evidenció una notable influencia del campo de acción del brazo soporte sobre el suelo, en el sentido de afectar el resultado de las mediciones. Para las condiciones de los ensayos realizados se determinó que, para evitar este efecto perturbador, la distancia entre la base de la sonda y la barra soporte debe ser superior a 110 mm, así como que la velocidad de sensoramiento no debe exceder los 0,7 m·s⁻¹;
- Asimismo se determinó que a dicha velocidad de marcha del sistema de sensoramiento, el registro horizontal y continuo del índice de cono (30° x 130 mm²) resultó inferior a las mediciones de control efectuadas en dirección vertical, en forma manual y al mismo nivel de profundidad, con un cono ASAE normalizado. El porcentaje de disminución fue cercano al 50%;
- Como resultado de la comparación del desempeño de sondas de diferente geometría se determinó que el empleo de un cono ASAE normalizado durante el registro horizontal y continuo de la resistencia a la penetración, presenta el inconveniente de ser más susceptible al efecto de la fricción en el vástago soporte de las sondas, debido a la pequeña diferencia entre el área de la base del cono y el diámetro del vástago.

It can also be appreciated in Figure 5, the obtaining of higher values of the soil strength penetration obtained with the wedge, in relation to the one obtained with identical angle cone and base area.

When comparing (Figure 5) the result of the recordings of the soil strength penetration (average value of 0,74 MPa), obtained with continuous horizontal movement of the probe of 30° x 130 mm² (ASABE cone) to a speed of 0,686 m·s⁻¹, with the results of the measurements of sampling of the index cone (with an average value of 1,48 MPa) taken in vertical direction and to very low speed (quasi-static movement), it is obtained a decrease close to 50% of the continuous horizontal recording in relation to the vertical measurements, made at the same depth (200 mm), what coincides with the report made by Hall y Raper (2005) during the continuous horizontal measurement to 100 mm deep, with a prismatic probe of 625 mm² of base area in a sandy loam soil with 11% of clay.

CONCLUSIONS

- It was evidenced a noticeable influence of the disturbing of the supporter shank on the soil, so as it affected the result of the measurements. For the conditions on which the tests were carried out, it was determined to avoid this disturbing effect: the protruding between the base of the probe and the supporter shank should be superior to 110 mm. As well as the sensing speed should not exceed the 0,7 m·s⁻¹;
- Also it was determined that to this on-the-go speed of the sensing system, the horizontal and continuous recording of the index cone (30° x 130 mm²) was inferior to the control measurements made in vertical direction, in manual form and at the same level of depth, with a standard ASABE cone. The decreasing percent reached values close to 50%;
- As a result of the comparison of the behaviour of different geometry probes, it was determined that the use of a standard ASABE cone during the horizontal and continuous recording of the soil strength, presents the inconvenience of being more susceptible to the effect of the rod friction, due to the small difference between the base area of the cone and the diameter of the rod.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMCHUK, V.I.; MORGAN, M.T.; SUMALI, H.: "Application of a strain gauge array to estimate soil mechanical impedance on-the-go", *Transactions of the ASAE*, 44(6): 1377-1383, 2001, ISSN: 0001-2351, 2151-0059, DOI: 10.13031/2013.7000.
- ADAMCHUK, V.I.; SUDDUTH, K.A.; INGRAM, T.J.; CHUNG, S.-O.: "Comparison of Two Alternative Methods to Map Soil Mechanical Resistance On-the-Go", [en línea], En: *ASAE Annual Meeting*, Ed. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Paper number 061057, 2006, DOI: 10.13031/2013.20587, Disponible en: <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?JID=5&AID=20587&CID=por2006&T=1>, [Consulta: 26 de noviembre de 2016].
- ALIHAMSYAH, T.; HUMPHRIES, E.G.; BOWERS, C.G.: "A technique for horizontal measurement of soil mechanical impedance", *Transactions of the ASAE*, 33(1): 0073-0077, 1990, ISSN: 2151-0059, DOI: 10.13031/2013.31296.
- ANDRADE-SÁNCHEZ, P.; UPADHYAYA, S.K.; JENKINS, B.M.: "Development, Construction, and Field Evaluation of a Soil Compaction Profile Sensor", *Transactions of the ASABE*, 50(3): 719-725, 2007, ISSN: 2151-0040, DOI: 10.13031/2013.23126.
- ASAE: *Procedures for Using and Reporting Data Obtained with the Soil Cone Penetrometer*, [en línea], no. ASAE EP542, Inst. ASAE, St. Joseph, Mich., USA, febrero de 1999, Disponible en: [https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=44192&redir=\[confid=s2000\]&redirTtype=standards.asp&dabs=Y](https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=44192&redir=[confid=s2000]&redirTtype=standards.asp&dabs=Y), [Consulta: 26 de noviembre de 2016].
- ASAE; ASABE: *Soil Cone Penetrometer*, [en línea], no. S313.3 (R2013), Inst. ASABE, St. Joseph, Mich., USA, p. 3, 2 de enero de 1999, Disponible en: http://www.techstreet.com/standards/asae-asabe-s313-3-r2013?product_id=1775024, [Consulta: 26 de noviembre de 2016].

- CHUKWU, E.; BOWERS, C.G.: "Instantaneous multiple-depth soil mechanical impedance sensing from a moving vehicle", *Transactions of the ASAE*, 48(3): 885-894, 2005, ISSN: 2151-0059, DOI: 10.13031/2013.18492.
- CHUNG, S.-O.; SUDDUTH, K.A.; PLOUFFE, C.; KITCHEN, N.R.: "Evaluation of an On-the-go Soil Strength Profile Sensor Using Soil Bin and Field Data", [en línea], En: *ASAE Annual Meeting*, Ed. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Paper Number 041039, 2004, DOI: 10.13031/2013.16137, Disponible en: <http://elibrary.asabe.org/abstract.asp?JID=5&AID=16137&CID=can2004&T=1>, [Consulta: 26 de noviembre de 2016].
- GLANCEY, J.; UPADHYAYA, S.K.; CHANCELLOR, W.J.; RUMSEY, J.W.: "Prediction of agricultural implement draft using an instrumented analog tillage tool", *Soil and Tillage Research*, 37(1): 47-65, 1996, ISSN: 0167-1987, DOI: 10.1016/0167-1987(95)00507-2.
- GONZÁLEZ, C.O.; IGLESIAS, C.C.E.; HERRERA, S.M.; LÓPEZ, B.E.; SÁNCHEZ, I.Á.: "Efecto de la humedad y la presión sobre el suelo en la porosidad total de un Rhodic Ferralsol", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 17(2): 50-54, 2008, ISSN: 2071-0054.
- HALL, H.; RAPER, R.L.; GRIFT, T.; REEVES, D.: "Development of an on-the-fly mechanical impedance sensor and evaluation in a coastal plains soil", [en línea], En: *XV International Soil Tillage Research Organization Conference*, Ed. Institute of Soil Science, Ft. Worth, TX, 2000, Disponible en: https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/60100500/csr/ResearchPubs/raper/raper_00b.pdf.
- HALL, H.E.; RAPER, R.L.: "Development and concept evaluation of an on-the-go soil strength measurement system", *Transactions of the ASAE*, 48(2): 469-477, 2005, ISSN: 2151-0059, DOI: 10.13031/2013.18311.
- HEMMAT, A.; KHORSANDY, A.; MASOUMI, A.A.; ADAMCHUK, V.I.: "Influence of failure mode induced by a horizontally operated single-tip penetrometer on measured soil resistance", *Soil and Tillage Research*, 105(1): 49-54, 2009, ISSN: 0167-1987, DOI: 10.1016/j.still.2009.05.003.
- HERNÁNDEZ, J.A.; CABRERA, R.A.; BORGES, B.Y.; VARGAS, B.D.; BERNAL, F.A.; MORALES, D.M.; ASCANIO, G.M.O.: "Degradación de los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados y sus indicadores de la Llanura Roja de La Habana", *Cultivos Tropicales*, 34(3): 45-51, 2013, ISSN: 0258-5936.
- HERNÁNDEZ, J.A.; PÉREZ, J.M.; BOSCH, D.; RIVERO, L.; CAMACHO, E.; RUÍZ, J.; SALGADO, E.J.; MARSÁN, R.; OBREGÓN, A.; TORRES, J.M.; GONZÁLES, J.E.; ORELLANA, R.; PANEQUE, J.; RUIZ, J.M.; MESA, A.; FUENTES, E.; DURÁN, J.L.; PENA, J.; CID, G.; PONCE DE LEÓN, D.; HERNÁNDEZ, M.; FRÓMETA, E.; FERNÁNDEZ, L.; GARCÉS, N.; MORALES, M.; SUÁREZ, E.; MARTÍNEZ, E.: *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba*, Ed. AGROINFOR, La Habana, Cuba, 64 p., 1999, ISBN: 959-246-022-1.
- HERRERA, S.M.; IGLESIAS, C.C.; LARA, C.D.; GONZÁLEZ, C.O.; LÓPEZ, B.E.: "Desarrollo de un sensor para la medición continua de la compactación del suelo", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(1): 06-11, 2011, ISSN: 2071-0054.
- KHALILIAN, A.; HAN, Y.J.; DODD, R.B.; SULLIVAN, M.J.; GORUCU, S.; KESKIN, M.: "A Control System for Variable Depth Tillage", [en línea], En: *ASAE International Meeting*, Ed. ASAE, At Chicago, Illinois, USA, 29 de julio de 2002, Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/272168320_A_Control_System_for_Variable_Depth_Tillage, [Consulta: 26 de noviembre de 2016].
- MARTÍNEZ, R.A.; RODRÍGUEZ, P.R.; PÉREZ, S.A.: "Sensoramiento del estado de compactación del suelo mediante un campo magnético variable", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(1): 25-30, 2011, ISSN: 2071-0054.
- MOUAZEN, A.M.; ANTHONIS, J.; SAEYS, W.; RAMON, H.: "An Automatic Depth Control System for Online Measurement of Spatial Variation in Soil Compaction, Part 1: Sensor Design for Measurement of Frame Height Variation from Soil Surface", *Biosystems Engineering*, 89(2): 139-150, 2004, ISSN: 1537-5110, DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2004.06.005.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Geotecnia. Determinación del contenido de humedad de los suelos y rocas en el laboratorio*, no. NC 67, Sustituye a las NC 54-236:83 y NC 54-353:86, 2000.
- RAPER, R.L.; REEVES, D.W.; SHAW, J.N.; VAN SANTEN, E.; MASK, P.L.: "Benefits of site-specific subsoiling for cotton production in Coastal Plain soils", *Soil and Tillage Research*, 96(1-2): 174-181, 2007, ISSN: 0167-1987, DOI: 10.1016/j.still.2007.05.004.
- RAPER, R.L.; SCHWAB, E.B.; DABNEY, S.M.: "Measurement and variation of site-specific hardpans for silty upland soils in the Southeastern United States", *Soil and Tillage Research*, 84(1): 7-17, 2005, ISSN: 0167-1987, DOI: 10.1016/j.still.2004.08.010.

Received: 12/03/2016.

Approved: 14/11/2016

Ernesto Ramos-Carbajal, Investigador y Profesor, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, Centro de Mecanización Agropecuaria, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: carbajales@unah.edu.cu

Arturo Martínez-Rodríguez, E-mail: arturo@unah.edu.cu

Alexander Laffita-Leyva, E-mail: alex1@unah.edu.cu

Julio Cesar Ayala-López, E-mail: juliocesar@unah.edu.cu