



Comparison of Energy Cost in Corn Cultivation with Conventional and Conservation Agriculture Systems

Comparación del costo energético en el cultivo del maíz con Sistemas Convencional y de Conservación

Dr.C. Pedro Paneque-Rondón^I, M.Sc. Wolfgang Jiménez^{II}, Dr.C. Pablo Hernández-Alfonso^I
M.Sc. María Victoria Gómez-Águila^{III}, M.Sc. Héctor R. De las Cuevas-Milán^I, Dr.C. Alexander Miranda-Caballero^{IV}

^I Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

^{II} Universidad Politécnica Territorial “José A. Anzoátegui, El Tigre, Edo. Anzoátegui, Venezuela.

^{III} Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Edo. México, México.

^{IV} Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Unidad Científico Tecnológica de Base Los Palacios, Pinar del Río, Cuba.

ABSTRACT. The objective of the research was to compare the energy cost of the main mechanized agricultural operations, emphasizing the tillage/seeding and quantify their possible saving using the Conservation System (no till with cover), in relation to the Conventional System, starting from the hypothesis that it is possible to reduce the energy cost by more than 10% in agricultural machinery operation in corn (*Zea mays* L.) cultivation of Los Riecos Company in Freites Municipality, Anzoátegui State. In the experimental design, an analysis of variance was used to determine the existence of significant differences or not between the population means of each variable and the treatments applied. For the determination of energy and operating cost, the program “Energy and Operation Costs” was used. Bulk density, moisture and soil resistance, as well as fuel consumption, energy costs and operating costs were studied in each experimental unit. It is concluded that there are no significant differences in bulk density, moisture and soil resistance in the studied depths. Physical-mechanical characteristics of the tested plots of soils do not interfere in the application of the treatments. The system with the lowest energy cost, operating costs and fuel consumption, with an average value of 28.9 L•ha⁻¹, was that of Conservation. The technology used in the Conservation System meant a saving of labor, by investing less time (4 h•ha⁻¹) of machinery use.

Keywords: no till with cover, mechanized operations

RESUMEN. El objetivo de la investigación fue comparar el costo energético de las principales operaciones agrícolas mecanizadas, haciendo énfasis en la labranza/siembra y cuantificar su posible ahorro utilizando el Sistema de Conservación (siembra directa con cobertura), con relación al Sistema Convencional, partiendo de la hipótesis de que es posible reducir el costo energético en más de un 10%, en la explotación de la maquinaria agrícola, en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.), de la Empresa Los Riecos del Municipio Freites, Estado Anzoátegui. Fue utilizado en el diseño experimental, un análisis de varianza para la determinación de la existencia de diferencias significativas o no entre las medias poblacionales de cada variable y los tratamientos aplicados. Para la determinación de los costos energéticos y de explotación se utilizó el programa “Costos Energéticos y de Explotación”. En cada unidad experimental fueron estudiadas densidad aparente, humedad y resistencia del suelo; consumo de combustible costo energético y gastos de explotación. Se concluye que no existen diferencias significativas en la densidad aparente, humedad, resistencia del suelo, en las profundidades estudiadas. Las características físico-mecánicas de los suelos de las parcelas ensayadas no interfieren en la aplicación de los tratamientos. El sistema con menos costo energético, gastos de explotación y consumo de combustible, con un valor medio de 28,9 L•ha⁻¹, fue el de Conservación. La tecnología empleada en el Sistema de Conservación significó un ahorro de mano de obra, al invertir menos tiempo (4 h•ha⁻¹) de utilización de la maquinaria.

Palabras clave: siembra directa con cobertura, operaciones mecanizadas

INTRODUCTION

The accentuated use of conventional technology in world agriculture during last decades has generated an unfavorable

INTRODUCCIÓN

El uso acentuado de la tecnología convencional en la agricultura mundial durante las últimas décadas, ha generado una

situation from the point of view of the productive natural resources conservation, especially soil (FAO, 1992; López *et al.*, 2010; Arvidsson & Hakansson, 2014).

Some authors have pointed out that the cost of agricultural machinery in Chile, in terms of fuel, fluctuates between 35 and 45% of the total cost of production¹ (Paneque, *et al.*, 1998). On the other hand in Venezuela this aspect has not been studied in depth. In the same sense, several researches have established that energy cost for fuel and machinery represents a high percentage of the total energy cost of production in business agriculture (Pick, 1989; Fluck, 1992; De las Cuevas *et al.*, 2011). Fluck & Baird (1980) calculated that a tractor of the type 75 kW has an energy cost of approximately 1060 MJ/h, of which 77% corresponds to fuel.

Considering that there are no scientific data in this area to quantify the yield and energy cost of the machinery, with the technology of conventional seeding and direct seeding, there is a need to carry out the present research work, which will allow, through the comparison of the two technologies with corn (*Zea mays* L.), determining the energy and production costs and protecting the soil resource and the environment.

The objective of the research was to compare the energy cost of the main mechanized agricultural operations, emphasizing the tillage using Direct System with Cover (SDC) (Conservation System), in relation to the Conventional System (SC), starting from the hypothesis that it is possible to reduce more than 10% energy cost in the exploitation of agricultural machinery, in the cultivation of corn (*Zea mays* L.), of Los Riecos Company in Freitas Municipality, Anzoátegui State, Venezuela.

METHODS

The experiment was carried out in the Northern Summer 2014-2015 cycle with irrigation system with central pivot, between September and January, in the agro-industrial complex Los Riecos, San Tomé, Cantaura Parish, Freitas Municipality of Anzoátegui State, in Venezuela. It is characterized by an average annual precipitation regime of 1100 mm and average temperature 27 °C and 256 msnm, relative humidity of 77, 3 % in the rainy season and 64, 1% in the dry season.

Characterization of Plots and Experimental Design

Each experimental plot occupied an area of 1000 m², being 20 m wide and 50 m long, separated by 4 m wide tracks. Along 10 m paths at its longitudinal ends, the maneuvers and agricultural set speed stabilization were performed, studying in them the behavior of bulk density, moisture and soil resistance, fuel consumption and energy cost of two tillage and seeding systems for corn (*Zea mays* L.). STATGRAPHICS Plus Version 5.0 was used as statistical tool for data processing. Simple ANOVA and Tukey's test (HSD), $p < 0.05$ was used for mean comparison.

situación poco favorable desde el punto de vista de la conservación de los recursos naturales productivos, especialmente el suelo (FAO, 1992; López *et al.*, 2010; Arvidsson y Hakansson, 2014).

Algunos autores han señalado que el costo por concepto de maquinaria agrícola en Chile, en cuanto a combustible, fluctúa entre 35 y 45% del costo total de producción¹ (Paneque *et al.*, 1998). Por otro lado en Venezuela este aspecto no se ha estudiado con profundidad. En ese mismo sentido, varias investigaciones han establecido que el costo energético por concepto de combustible y máquinas representa un alto porcentaje del costo energético total de producción en la agricultura empresarial (Pick, 1989; Fluck, 1992; de las Cuevas *et al.*, 2011). Algunos autores han calculado que un tractor del tipo 75 kW tiene un costo energético aproximado de 1060 MJ/h del cual el 77% corresponde a combustible (Fluck y Baird, 1980).

Considerando que en esta zona no existen datos científicos que les permita cuantificar el rendimiento y costo energético en la explotación de la maquinaria, con la tecnología de la siembra convencional y la siembra directa, surge la necesidad de realizar el presente trabajo de investigación, el cual permitirá a través de la comparación de ambas tecnologías en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.), determinar los costos energéticos y de producción, además de proteger el recurso suelo y el medio ambiente.

El objetivo de la investigación fue comparar el costo energético de las principales operaciones agrícolas mecanizadas, haciendo énfasis en la labranza/siembra utilizando el sistema de siembra directa con cobertura (SDC) (Sistema de Conservación), con relación al Sistema Convencional (SC), partiendo de la hipótesis de que es posible reducir el costo energético en más de un 10%, en la explotación de la maquinaria agrícola, en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.), de la Empresa Los Riecos del Municipio Freitas, Estado Anzoátegui, Venezuela.

MÉTODOS

El experimento fue realizado en el ciclo Norte Verano 2014-2015 con sistema de riego con pivote central, entre septiembre-enero, en el complejo agroindustrial Los Riecos, San Tomé, Parroquia Cantaura, Municipio Freitas del Estado Anzoátegui, Venezuela. El área experimental se caracteriza por un régimen de precipitación media anual de 1100 mm y temperatura media 27 °C y 256 msnm, humedad relativa de 77,3% en la época lluviosa y 64,1% en la época seca.

Caracterización de las parcelas y el diseño experimental

Cada parcela experimental ocupó un área de 1000 m², siendo 20 m de ancho y 50 m de longitud, separadas por calles de 4 m de ancho. En sus extremos longitudinales por corredores de 10 m, para las maniobras y estabilización de la velocidad de los conjuntos agrícolas, estudiando en las mismas el comportamiento de la densidad aparente, humedad y resistencia del suelo; consumo de combustible y costo energético de dos sistemas de labranza y siembra para el cultivo del maíz (*Zea mays* L.). Para el procesamiento de los datos se utilizó el utilitario estadístico STATGRAPHICS Plus Versión 5.0. Se aplicó ANOVA simple y la prueba de Tukey (HSD), $p < 0,05$ para la comparación de las medias.

¹ HETZ, E.: Costos de operación de tractores y máquinas agrícolas. En: IV Sem. Nac. De Mecanización Agrícola, 26pp. Univ. De Concepción, Chillán. Chile, 1990.

Soil Characterization

The soil of the experimental area is taxonomically classified as Ultisol, characterized by high sand content of up to 88%, highly drained, low fertility, acid pH ranging from 4.5 to 5.5, notably phosphorus deficiency by its high fixation². Therefore, it requires a high agronomic management to better these limitations and to increase its capacity of use. Physical characterization of the soil was carried out, determining: moisture, bulk density and resistance to penetration from 0 to 30 cm.

Determination of Soil Moisture

Samples were collected in aluminum foil and taken to the Soil Laboratory of José A. Anzoátegui Polytechnic University (UPTJAA), to be weighed in an electronic balance with 0.001 g of precision. All samples were weighed and the paper weight + wet soil was determined and dried for 24 h in a Memmert electric oven at 110 °C. Then they were allowed to rest to re-weigh and to know the data of the weight of aluminum foil + dry soil (NC 67: 2000). Subsequently the corrections were made taking into account the weight of aluminum foil, calculating the moisture through the following expression 1:

$$H = \frac{M_{shum} - M_{sseco}}{M_{sseco}} \quad (1)$$

where:

M_{shum} and M_{sseco} - Are the masses of wet and dry soil, respectively, g.

Penetration Resistance (RP)

To determine soil resistance to penetration of the experimental area, a dynamic cone penetrometer was used, consisting of an impact mass of 2.3 kg and a free fall distance of 0.6 m. The readings of the number of blows per depth at intervals of 5 cm were recorded at the same sampling points above, the maximum depth being explored depending on the particularities of the soil of the point in question³. The values obtained were translated to RP values using Scala's (1956) formulation quoted by Stout et al. (1990) as described in expression 2.

$$RP = \frac{M}{(M+m)} \frac{Mgh}{A_x} + (M+m) \frac{g}{A} \quad (2)$$

where:

A- area of the cone base, cm²;

g - acceleration of gravity, cm/s²;

h- drop height, m;

M-impact mass, kg;

m-mass of the penetrometer without considering, M, kg;

X-penetration distance, cm.

Caracterización de los suelos

El suelo del área experimental está taxonómicamente clasificados como Ultisol, se caracterizan por alto contenido de arena de hasta un 88%, altamente drenados, baja fertilidad, pH ácido que oscila entre 4,5 y 5,5, notablemente con deficiencia de fósforo por su alta fijación². Por lo cual requiere de un alto manejo agronómico para mejorar estas limitaciones y elevar su capacidad de uso. Fue realizada la caracterización física del suelo, determinándose: humedad, densidad aparente y resistencia a la penetración de 0 a 30 cm.

Determinación de la humedad del suelo

Las muestras se recogieron en papel de aluminio y se llevaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad Politécnica Territorial "José A. Anzoátegui (UPTJAA), para ser pesadas en una balanza electrónica con 0,001 g de precisión. Se procedió a pesar todas las muestras y determinar el peso del papel + suelo húmedo y se colocaron para su secado 24 h en una estufa eléctrica modelo Memmert a 110 °C. Luego se dejaron reposar para volver a pesar y conocer los datos del peso del papel de aluminio + suelo seco (NC 67: 2000). Posteriormente se hicieron las correcciones tomando en cuenta el peso del papel de aluminio, realizándose los cálculos de la humedad a través de la siguiente expresión 1:

$$H = \frac{M_{shum} - M_{sseco}}{M_{sseco}} \quad (1)$$

donde:

M_{shum} y M_{sseco} - son las masas de suelo húmedo y seco, respectivamente, g

Resistencia a la penetración (RP)

Para determinar la resistencia a la penetración del suelo del área experimental se utilizó un penetrómetro dinámico de cono, que consta de una masa de impacto de 2,3 kg y distancia de caída libre de 0,6 m. Las lecturas del número de golpes por profundidad a intervalos de 5 cm se registraron en los mismos puntos de muestreo anteriores, siendo la máxima profundidad explorada dependiente de las particularidades del suelo del punto en cuestión³. Los valores obtenidos fueron traducidos a valores de RP mediante la formulación de Scala (1956), citado por Stout et al. (1990), como se describe en la expresión 2.

$$RP = \frac{M}{(M+m)} \frac{Mgh}{A_x} + (M+m) \frac{g}{A} \quad (2)$$

donde:

A- área de la base del cono, cm²;

g- aceleración de la gravedad, cm/s²;

h - altura de caída, m;

M-masa de impacto, kg;

m-masa del penetrómetro sin considerar M, kg;

x-distancia de penetración, cm.

² "[Community_garden] Urban Ag/Community Ag projects in Chile?", [en línea], En: 2010, Disponible en: http://list.communitygarden.org/pipermail/community_garden_list.communitygarden.org/2010-July/004632.html, [Consulta: 23 de junio de 2017].

³ FONTANETTO y KELLER: Efecto de las labranzas sobre propiedades del suelo y los rendimientos. [en línea] 1998, Disponible en: <http://rafaela.inta.gov.ar/productores/97-98/Indice.htm>. [Consulta: octubre, 24 2014].

Determination of Soil Bulk Density

Bulk density. It is defined as the relationship between the dry mass of a soil sample and the volume occupied by that sample in the field. The result of the ratio (mass / volume) is obtained in grams per cubic centimeters (g/cm^3).

To determine the bulk density of the soil, Uhland cylinder method was used using five cylinders per plots to extract soil samples, each length and diameter were measured with a caliper gauge (Vernier). To determine the volume, samples were taken at the 10 chosen points, placed in aluminum foil, weighed and taken to an oven at 110°C for 24 hours, in order to determine the weight of the soil. The procedure for sampling was calculated by equation 3.

$$D_a = \frac{M_{ss}}{V_c} \quad (3)$$

Where:

D_a - soil bulk density, g/cm^3 ;

M_{ss} -dry soil mass, g;

V_c -volume of the cylinder, cm^3 .

Characterization of Machines

A Massey Ferguson tractor model 680 4x4, 6,000 kg, and 292 4x2 TDA with a maximum power of 48 kW (65 hp) in the engine at 2,000 rpm and a mass of 3 150 kg was used as the energy source in the experimental tests.

The implements and machines used in conducting the experiment were the following:

- Rotating Disc Harrow (Trail) with 36 discs: 18 teeth in the front, 18 smooth edges in the back and 1 800 kg mass.
- Jacto bar sprayer of 2000 L capacity and 850 kg of mass and working width of 14 m.
- Vence Tudo Seeding machine SA 14600 A, of 6 lines for grains with 1 300 kg.
- Vicon Fertilizer for application of granulated fertilizer and mass of 130 kg.
- Massey Ferguson harvester machine (combine, model 5680 with mass of 8060 kg).

Energy and Operation Costs in Agricultural Sets

For the determination of the energy and operation costs, the work of several specialists was studied and different methodologies were used. Burhan *et al.* (2004); Meul *et al.* (2007); Fumagalli, *et al.* (2011) and Mohammadhossein *et al.* (2012). The computer program “Energy and Exploitation Costs (CEE)” was used, which is an automated system elaborated in the CEMA by De las Cuevas, *et al.* (2009), this system allowed the analysis of the primary data of the observations, as well as the determination of the aforementioned costs.

RESULTS AND DISCUSSION

Characterization of Experimental Researches

The experimental area is characterized by an average annual rainfall of 1100 mm and a mean temperature of 27°C

Determinación de la densidad aparente del suelo

Densidad aparente. Se define como la relación que hay entre la masa seca de una muestra de suelo y el volumen que ocupó dicha muestra en el campo. El resultado de la relación (masa/volumen) se obtiene en gramos por centímetros cúbico (g/cm^3).

Para determinar la densidad aparente del suelo se utilizó el método de cilindro Uhland utilizando cinco cilindros por parcelas para extraer las muestras del suelo, a cada cilindro se le midió la longitud y el diámetro interior, utilizando un pie de rey (Vernier). Para determinar el volumen, las muestras se tomaron en los 10 puntos elegidos, colocadas en papel de aluminio, pesadas y llevadas a una estufa a 110°C por 24 horas, para así determinar el peso del suelo. El procedimiento para la toma de muestra se calculó por la ecuación 3.

$$D_a = \frac{M_{ss}}{V_c} \quad (3)$$

donde:

D_a -densidad aparente del suelo, g/cm^3 ;

M_{ss} -masa de suelo seco, g;

V_c -volumen del cilindro, cm^3 .

Caracterización de las máquinas

Fue utilizado como fuente energética en las pruebas experimentales un tractor Massey Ferguson, modelo 680 4x4, 6 000 kg, y 292 4x2 TDA con potencia máxima de 48 kW (65 cv) en el motor a 2 000 rpm y masa de 3 150 kg.

Los implementos y máquinas utilizados en la conducción del experimento fueron los siguientes:

- Rastra (Grada) Rota Agro de 36 discos, 18 dentados al frente y 18 de bordes lisos en la parte trasera y 1 800 kg de masa.
- Pulverizador de barra, Jacto de 2000 L de capacidad y 850 kg de masa y ancho de trabajo de 14 m.
- Sembradora Vence Tudo SA 14600 A, de 6 líneas para granos con masa de 1 300kg.
- Trompo Vicon para aplicación de fertilizante granulado y masa de 130 kg.
- Cosechadora Massey Ferguson, modelo 5680 con masa de 8 060 kg.

Costos energéticos y de explotación en los conjuntos agrícolas

Para la determinación de los costos energéticos y de explotación se estudiaron los trabajos de varios especialistas y se utilizaron diferentes metodologías, estando entre los autores Burhan *et al.* (2004), Meul *et al.* (2007), Fumagalli, *et al.* (2011), y Mohammadhossein *et al.* (2012). Se utilizó el programa de computación “Costos Energéticos y de Explotación (CEE)” el cuál es un sistema automatizado elaborado en el CEMA por de las Cuevas *et al.* (2009), este sistema permitió el análisis de los datos primarios de las observaciones, así como la determinación de los costos mencionados anteriormente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de las investigaciones experimentales

El área experimental se caracteriza por un régimen de precipitación media anual de 1100 mm y temperatura media 27°C

and 256 msnm, relative humidity of 77.3% in the rainy season and 64.1% in the dry season.

Soil Characteristics, Energy and Operation Indicators

Physical-Mechanical Properties of the Soil

Each physical-mechanical characteristic of the soil was analyzed in the two plots studied. The treatment consisting of Conventional System (SC) was applied to plot 1 and Conservation System treatment (direct seeding with cover (SDC)) was applied to plot 2. As a general aspect evaluated in both plots, it is emphasized that datum populations studied for all variables analyzed (moisture, bulk density and resistance to penetration), normally distribute with homogeneous variances, which is the basis of variance analysis for determining the existence of significant differences between population means of each variable and the treatments applied.

Moisture

The studied variable was measured for each treatment at two different depths, up to 20 cm and from 20 to 30 cm, yielding 5 samples per depth per plot.

For the Conventional System (SC) treatment it was obtained that the average moisture up to 20 cm depth is 2.52% in a range from 1.04 to 3.55% with a coefficient of variation of 43.42%. In the case of the Conservation System (SDC) an average of 4.26% was obtained in a range from 0.8% to 13.69%, with the Conservation System being more variable with a coefficient of variation of 125.61 % as it is seen in Table 1

As for the analysis of moisture in the depth between 20 and 30 cm, it was obtained, on average, that in the Conventional System it is of 3.64% in a range from 2.63% to 4.62%, with a coefficient of variation of 22.98% and in the Conservation System the average value is of 2.27% with a range from 1,18% to 2,97% being more variable the Conservation System with coefficient of variation of 34, 51%.

y 256 msnm, humedad relativa de 77,3% en la época lluviosa y 64,1% en la época seca.

Características del suelo, indicadores energéticos y de explotación

Características físico mecánicas del suelo

Se procedió a analizar cada una de las características físico mecánicas del suelo en las dos parcelas estudiadas. A la parcela 1 se le aplicó el tratamiento consistente en el Sistema Convencional (SC) y a la parcela 2, el tratamiento Sistema de Conservación (siembra directa con cobertura (SDC)). Como aspecto general evaluado en ambas parcelas se destaca que las poblaciones de datos estudiados para todas las variables analizadas (humedad, densidad aparente y resistencia a la penetración), distribuyen normalmente con varianzas homogéneas lo que fundamenta la realización de un análisis de varianza para la determinación de la existencia de diferencias significativas entre las medias poblacionales de cada variable y los tratamientos aplicados.

Humedad

La variable estudiada se midió para cada tratamiento a dos profundidades diferentes, hasta 20 cm y de 20 a 30 cm, obteniéndose por parcela 5 muestras por profundidad.

Para el tratamiento Sistema Convencional (SC) se obtuvo que la humedad media hasta 20 cm de profundidad es de 2,52% en un rango que va desde 1,04 a 3,55% con un coeficiente de variación de 43,42%. En el caso del Sistema de Conservación (SDC) se obtuvo una media de 4,26% en un rango que va desde 0,8% hasta 13,69% siendo más variable el Sistema de Conservación con un coeficiente de variación de 125,61% como se observa en la Tabla 1.

En cuanto al análisis de la humedad en la profundidad entre 20 y 30 cm se obtuvo como promedio que en el Sistema Convencional es de 3,64% en un rango que va desde 2,63% hasta 4,62%, con un coeficiente de variación de 22,98% y en el Sistema de Conservación el valor medio es de 2,27% con un rango que va desde 1,18% y 2,97% siendo más variable el Sistema de Conservación con coeficiente de variación de 34,51%.

TABLE 1. Statistical Summary of Moisture at 20 and 30 cm for Each Treatment
 TABLA 1. Resumen estadístico de la humedad a 20 y 30 cm para cada tratamiento

Treatment	Moisture 20	Moisture 30	Moisture 20	Moisture 30
	SC	SC	SDC	SDC
Frequency	5	5	5	5
Mean	2,52	5,52	4,26	3,96
Variance	1,19	8,27	28,74	6,87
Standard Deviation	1,09	2,87	5,36	2,6
Minimum	1,04	3,11	0,8	0,72
Maximum	3,55	10,12	13,69	7,48
Coef. of Variation%	43,42	52,09	125,61	66,05

From the previous analysis it was concluded that:

The plot in which the Conservation System treatment was applied has greater variability with respect to mean values of moisture than the plot to which the Conventional System was applied.

Del análisis anterior se concluye que:

Que la parcela en la cual se aplicó el tratamiento Sistema de Conservación posee mayor variabilidad con respecto a los valores medios de la humedad que la parcela a la cual se aplicó el Sistema Convencional.

The average moisture depth between 20 and 30 cm is slightly higher than 0 to 20 cm in the plot to which the Conventional System was applied.

The results obtained in the analysis of variance show that there are no significant differences in moisture at both depths for the two treatments applied since the P-value equal to 0.49 and 0.39, respectively, for all cases are greater than 0,05

Bulk Density (DA)

The statistical analysis for the two treatments, Conventional (SC) and Conservation (SDC) Systems indicates that the bulk density mean of the plot in which SC was applied is 1.46 g/cm³ and in the SDC treatment yielded a mean value of 1.54 g/cm³. The results of the variance analysis allow determining that bulk density (DA), did not affect the behavior of none of the two systems of seeding, since it is shown that there is no statistically significant difference, according to the P-value of 0.62 that is superior to 0.05. Therefore, it can be affirmed that the selection of the two plots under study guarantees homogeneity with respect to the variable studied. As shown in Table 2 the data taken distribute normally according to the calculated statistics.

La humedad promedio a la profundidad entre 20 y 30 cm es ligeramente mayor que de 0 a 20 cm en la parcela a la cual se aplicó el Sistema Convencional.

Los resultados obtenidos en los análisis de varianza muestran que no hay diferencias significativas de la humedad a ambas profundidades para los dos tratamientos aplicados, dado que el P-valor igual a 0,49 y 0,39 respectivamente para todos los casos son mayores a 0,05.

Densidad aparente (DA)

El análisis estadístico para los dos tratamientos, Sistemas Convencional (SC) y de Conservación (SDC), indica que el valor medio de la densidad aparente de la parcela en la cual se le aplicó el SC es de 1,46 g/cm³ y en la que se aplicó el tratamiento SDC se obtuvo un valor medio de 1,54 g/cm³. Los resultados del análisis de varianza permiten determinar que la densidad aparente (DA), no afectó el comportamiento de los dos sistemas de siembra, ya que se demuestra que no hay diferencia estadísticamente significativa, según el P- valor de 0,62 que es superior a 0,05. Por lo tanto, se puede afirmar que la selección de las dos parcelas en estudio garantiza homogeneidad respecto a la variable estudiada. Como se muestra en la Tabla 2, los datos tomados distribuyen normalmente según los estadígrafos calculados.

TABLE 2. Statistical Summary of Bulk Density
TABLA 2. Resumen estadístico de la densidad aparente

Da, g/cm ³	SC	SDC
Frequency	5	5
Mean	1,462	1,546
Standard Deviation	0,353652	0,0973653
Minimum	1,03	1,42
Maximum	1,83	1,68
Coef. of Variation	24,1896	6,29788

From the analysis it can be concluded that:

Mean bulk density in both treatments is homogeneous.

The mean bulk density of 1.69 and 1.68 g/cm³ for treatments 1 and 2, respectively, obtained as shown in Table 2, did not cause interference in the application of treatments between plots.

The sandy loam soils of Guanipa table, according to Casanova (1996), have a real bulk density of 1.6 g/cm³ and according to USDA (1999), a bulk density equal to 1.69 g/cm³ can affect the crop development.

Resistance to Penetration

The penetration resistance (RP) was obtained as explained in the methodology. In the statistical processing of the results it was analyzed the existence of significant differences between the means of the RP measured in the depth intervals for each treatment obtaining 25 observations per plot. According to the analysis of variance from the depth of 10 to 30 cm there is no statistically significant difference

Del análisis se puede concluir que:

Que la media de la densidad aparente en ambos tratamientos es homogénea.

La densidad aparente media de 1,69 y 1,68 g/cm³ respectivamente para los tratamientos 1 y 2 obtenidos como se muestra en la Tabla 2, que no provocan interferencia en la aplicación de los tratamientos entre parcelas.

Los suelos areno franco de la mesa de Guanipa, según Casanova, (1996), tienen una densidad aparente real de 1,6 g/cm³ y según USDA (1999), afirma que la densidad aparente igual a 1,69 g/cm³ puede afectar el desarrollo del cultivo.

Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración (RP) se obtuvo como se explica en la metodología. En el análisis estadístico de los resultados se analizó la existencia de diferencias significativas entre las medias de la RP medida en los intervalos de profundidades para cada tratamiento obteniéndose 25 observaciones por parcela. Según el análisis de varianza desde la profundidad de 10 hasta 30 cm

between the two plots to which Conventional System and Conservation System were applied. The determinations were made with 95% confidence.

Figure 1, shows the behavior of the results obtained in the Conventional System. It is observed that the resistance to penetration increases with the depth at which the measurements were obtained. The behavior is similar in the Conservation System, because at the depth of 25 to 30 cm there is variation: at 25 cm depth it is 4.25 MPa and at 30 cm it is 3.41 MPa as shown in Figure 2.

The analysis of variance performed with the objective of determining if there were differences between the plots to which SC and SDC treatments were applied allowed us to verify that there is no significant difference for the PR measured at depths of 10 to 30 cm between the two treatments. The analysis was performed with 95% confidence, which indicates homogeneity among the plots selected for the study.

no hay diferencia estadísticamente significativa entre las 2 parcelas, a las cuales se les aplicaron los tratamientos de sistema de siembra convencional y el sistema de siembra de conservación. Las determinaciones se hicieron con un 95% de confianza.

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de los resultados obtenidos en el Sistema Convencional. Se observa que la resistencia a la penetración aumenta con la profundidad a la que se obtuvieron las mediciones. El comportamiento es similar en el Sistema de Conservación, que a la profundidad de 25 a 30 cm existe variación en cuanto a que en la profundidad de 25 cm es de 4,25 MPa y a 30 cm es de 3,41 MPa como se muestra en la Figura 2.

El análisis de varianza realizado con el objetivo de determinar si existen diferencias entre las parcelas a las cuales se les aplicaron los tratamientos SC y SDC, permitió comprobar que no hay diferencia significativa para la RP medida a las profundidades desde 10 hasta 30 cm entre los dos tratamientos. El análisis se realizó con un 95% de confianza, lo cual indica homogeneidad entre las parcelas seleccionadas para el estudio.

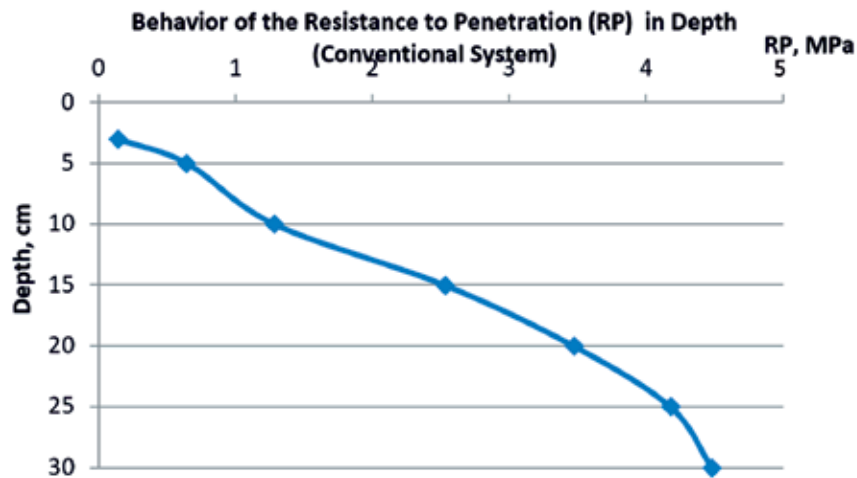


FIGURE 1. Behavior of Depth Penetration Resistance in the Conventional System (RP vs Depth).
 FIGURA 1. Comportamiento de la resistencia a la penetración en profundidad en el Sistema Convencional (RP vs profundidad).

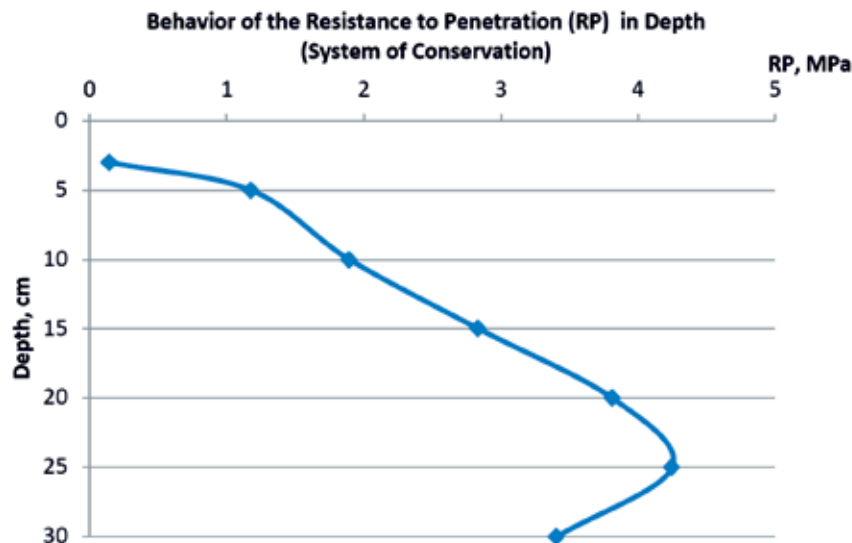


FIGURE 2 Behavior of Depth Penetration Resistance in the Conservation System (RP vs Depth).
 FIGURA 2 Comportamiento de la resistencia a la penetración en profundidad en el Sistema de Conservación (RP vs profundidad).

The cone index value for the SC treatment is 2.39 MPa while in the SDC treatment it is 2.50 MPa, both obtained at the beginning of the experimentation. This indicates that there is homogeneity in the compaction of both plots by comparing their soil profiles. The above is based on the non-existence of statistically significant differences of the studied variable among the treatments applied.

Tables 3 and 4 show the statistical summary of soil penetration resistance in MPa for each of the depths evaluated for the two treatments applied. As a general behaviour it is observed that the mean values of RP for the treatment of SC in relation to those obtained for the SDC are lower, being in ranges of minimum values between 0.14 and 3.48 MPa and 0.56 and 3, 48 MPa, respectively, there being a lower value in this treatment below 25 cm as a different behaviour. This can be caused by a continuous action of compaction due to the agricultural machinery used; however this value does not interfere in the applied treatments

The maximum RP values behave similar for both treatments, being between 0.98 and 4.85 MPa in SC and 2.24 and 4.85 MPa in SDC, coinciding the end of both treatments.

Likewise, the statistical summary shows that there is no regular behaviour of the coefficient of variation between treatments, since for the depths of 15 and 30 cm it is higher for the SDC treatment, while in the rest of the depths there is greater variability in the SC treatment. In spite of this variability, it does not imply that there is interference of the plot characterization for the application of the treatments. Similar behaviours were obtained in Spain (Hernandez, 1998).

El valor de índice de cono para el tratamiento SC es de 2,39 MPa mientras que en el tratamiento SDC es de 2,50 MPa, ambos obtenidos al comienzo de la experimentación. Ello indica que existe homogeneidad en cuanto a la compactación de ambas parcelas comparando sus perfiles de suelo. Lo anterior se sustenta en la no existencia de diferencias estadísticamente significativas de la variable estudiada entre los tratamientos aplicados.

Las Tablas 3 y 4 muestran el resumen estadístico del comportamiento de la resistencia a la penetración del suelo en MPa por cada una de las profundidades evaluadas para los dos tratamientos aplicados. Como comportamiento general se observa que los valores medios de RP para el tratamiento de SC con respecto a los obtenidos para el SDC, son menores, hallándose en rangos de valores mínimos entre 0,14 a 3,48 MPa y 0,56 a 3,48 MPa respectivamente, existiendo un valor menor en este tratamiento por debajo de los 25 cm como comportamiento diferente. Este puede ser provocado por una acción continua de compactación de la maquinaria agrícola empleada, sin embargo este valor no interfiere en los tratamientos aplicados

Los valores máximos de RP se comportan similares para ambos tratamientos estando entre 0,98 y 4,85 MPa en SC y 2,24 a 4,85 MPa en SDC coincidiendo el extremo de ambos tratamientos.

Así mismo el resumen estadístico muestra que no existe un comportamiento regular del coeficiente de variación entre los tratamientos ya que para las profundidades de 15 y 30 cm es mayor para el tratamiento SDC mientras que en el resto de las profundidades hay mayor variabilidad en el tratamiento SC. A pesar de esta variabilidad no implica que exista interferencia de la caracterización de la parcela para la aplicación de los tratamientos. Comportamientos similares fueron obtenidos en España (Hernández, 1998).

TABLE 3. Statistical Summary of the Penetration Resistance (RP), MPa. SC Treatment
TABLA 3. Resumen estadístico de la resistencia a la penetración (RP), MPa. Tratamiento SC

Sample	1	2	3	4	5	6
Frequency	5	5	5	5	5	5
Mean	0,644	1,284	2,534	3,474	4,18	4,48
Standard Deviation	0,460087	0,727516	0,142232	0,609943	0,582409	0,401061
Minimum	0,14	0,14	2,33	2,67	3,17	3,84
Maximum	0,98	1,82	2,67	4,35	4,68	4,85
Coef. of Variation	71,4421	56,6601	5,61295	17,5574	13,9332	8,95226

Sample 1: Depth 5 cm SC, Sample 2: Depth 10 cm SC, Sample 3: Depth 15 cm SC, Sample 4: Depth 20 cm SC, Sample 5: Depth 25 cm SC, Sample 6: Depth 30 cm SC

TABLE 4. Statistical Summary of the Resistance to Penetration (RP), Mpa. Treatment SDC
TABLA 4. Resumen estadístico de la resistencia a la penetración (RP), MPa. Tratamiento SDC

Sample	1	2	3	4	5	6
Frequency	5	5	5	5	5	5
Mean	1,17	1,892	2,836	3,81	4,246	3,404
Standard Deviation	0,707884	0,702403	0,580241	0,524166	0,349399	1,87215
Minimum	0,56	0,98	2,33	3,17	3,84	0,14
Maximum	2,24	2,67	3,84	4,35	4,68	4,85
Coef. of Variation	60,5029	37,1249	20,4598	13,7576	8,22891	54,9984

Sample 1: Depth 5 cm SDC, Sample 2: Depth 10 cm SDC, Sample 3: Depth 15 cm SDC, Sample 4: Depth 20 cm SDC, Sample 5: Depth 25 cm SDC, Sample 6: Depth 30 cm SDC

From the statistical analysis of the results obtained it was concluded that:

The mechanical-physical characteristics of the soils in the plots tested do not interfere in the application of SC and SDC treatment.

Del análisis estadístico de los resultados obtenidos se puede concluir que:

Las características físico mecánicas del suelos de las parcelas ensayadas no interfieren en la aplicación de los tratamiento SC y SDC.

Energy Cost and Operating Expenses

Energy cost

In the analysis of variance of energy cost behavior, the main objective of this study, according to the F test, significant differences were detected between the treatments of the two tillage and seeding systems under study ($P < 0.000$). The coefficient of variation was 0.005%, indicating an optimum experimental precision. The comparisons between the means are shown in the graph of Figure 3.

Costo energético y gastos de explotación

Costo energético

En los análisis de varianza del comportamiento del costo energético, principal objetivo de este trabajo, de acuerdo con la prueba F, se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos de los dos sistemas de labranza y siembra en estudio ($P < 0,000$). El coeficiente de variación fue 0,005%, indicando una óptima precisión experimental. Las comparaciones entre las medias se muestran en el gráfico de la Figura 3.

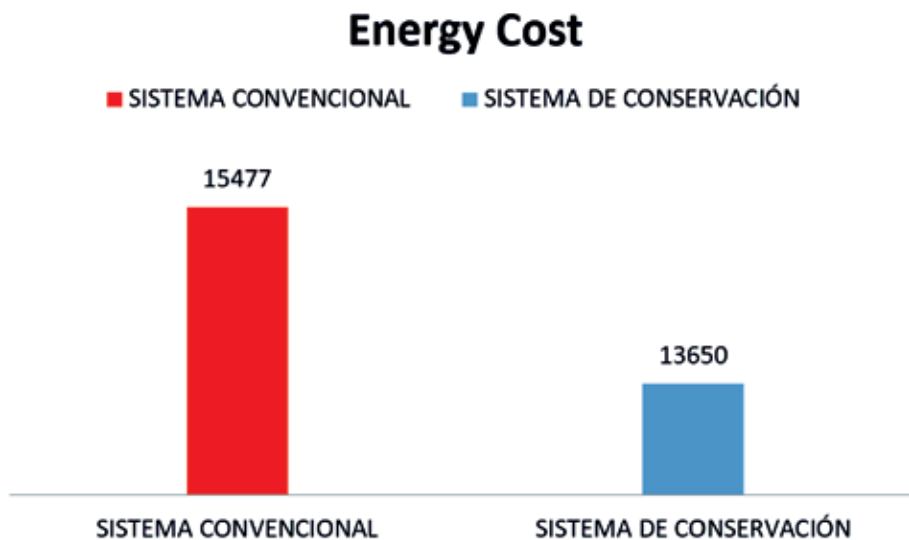


FIGURE 3. Average Values of Energy Cost (MJ·ha⁻¹) of the Conventional and Conservation Systems for Corn
 FIGURA 3. Valores medios del costo energético (MJ·ha⁻¹) de los Sistemas Convencional y de Conservación para el maíz.

According to the analysis of variance with a confidence level of 95%, it can be seen that the energy costs of both systems differ from one another. The Conservation System has an energy cost lower than the cost of the Conventional System. The results of energy cost of the two systems under study are shown in Table 5.

De acuerdo con el análisis de varianza con un nivel de confianza del 95%, se aprecia que los costos energéticos de ambos sistemas, difieren uno del otro.

El Sistema de Conservación tiene un costo energético menor al costo del Sistema Convencional, Los resultados del costo energético de los dos sistemas en estudio se aprecian en la Tabla 5.

TABLE 5. Energy Cost (MJ·ha⁻¹) of the Conventional and Conservation Systems for Corn
 TABLA 5. Costo energético (MJ·ha⁻¹) de los Sistemas Convencional y de Conservación para el maíz

Operations	Conventional System	Conservation System
Harrowing	4 440,00	-
Seeding	944,00	944,00
Spraying	8 656,00	11 269,00
Farming	1 273,00	1 273,00
Harvesting	164,00	164,00
Total	15 477,00	13 650,00
Percentage of the Total	100	88,19

Total energy costs of the Conventional System were higher. The Conservation System results in a total energy cost of 13 650.00 MJ·ha⁻¹, corresponding to 88.19% of the cost of the Conventional System, saving 1 827.00 MJ ha⁻¹. Energy corresponding to the fuel used amounted to 6 560.26 MJ·ha⁻¹ for the Conventional System and 1 381.43 MJ·ha⁻¹ for the Conservation System, which equals 137.24 L·ha⁻¹

Los costos energéticos totales del Sistema Convencional fueron mayores. El Sistema de Conservación ocasiona un costo energético total de 13 650,00 MJ·ha⁻¹, que corresponde al 88,19% del costo del Sistema Convencional, ahorrando 1 827,00 MJ ha⁻¹. La energía correspondiente al combustible utilizado ascendió a 6 560,26 MJ·ha⁻¹ para el Sistema Convencional y a 1 381,43 MJ·ha⁻¹ para el Sistema de Conservación, que equivalen a 137,24

and 28,9 L·ha⁻¹, respectively. Conservation System saves 108 L of diesel fuel for each hectare worked, equivalent to 21% of fuel savings. The results obtained coincide with that reported by Hetz (1998), Stout (1990) and ASAE (1993). In cultural work (irrigation, weeding and fertilization) there were no significant differences in energy costs. The energy cost in both systems was similar. According to the results obtained, the highest energy costs corresponded to the spraying work in the Conservation System (11 269.00 MJ·ha⁻¹), which coincides with the results indicated by Paneque *et al.* (2002) and those reported by Paneque and Soto (2007). This is due to the fact that primary tasks were not performed (harrowing pass) in this system. The technology used in the Conservation System meant a saving of labor, by spending less time (4 h·ha⁻¹) of use of the machinery and an increase in the efficiency of it.

Operating Expenses

The total expenses of the work carried out were lower in the Conservation System than in the Conventional System. A difference of 444.18 Bs·ha⁻¹ was recorded. The lowest total expenses of the Conservation System is due to the decrease in soil preparation (Table 6).

The results agree with those established by Collins *et al.* (1981), Frisby and Summers (1979), Hetz (1998), Summers *et al.* (1986) and Dos Reis (2000). These authors point out that the difference derives mainly from the amount of soil removed and the friction that occurs with each one of the tillage implements. In the Conservation System one operation less was performed (harrow pass) compared to the Conventional System, which meant 76% savings in total expenses and 44% savings in working time.

L·ha⁻¹ y 28,9 L·ha⁻¹ respectivamente, en este último sistema se ahorran 108 L de combustible gasoil por cada ha trabajada, equivalentes al 21% de ahorro de combustible. Los resultados obtenidos coinciden con lo señalado por Hetz (1998), Stout (1990), y ASAE (1993). En las labores culturales (riegos, deshierbes y fertilización) no existieron diferencias significativas de costos energéticos. El costo energético en ambos sistemas resultó semejante. De acuerdo con los resultados obtenidos, los mayores costos energéticos correspondieron a la labor de pulverización en el Sistema de Conservación (11 269,00 MJ·ha⁻¹), lo cual coincide con los resultados señalados por Paneque *et al.* (2002), y a los reportados por Paneque y Soto (2007). Esto es debido a que no se realizaron labores primarias (pase de rastra) en este sistema.

La tecnología empleada en el Sistema de Conservación significó un ahorro de mano de obra, al invertir menos tiempo (4 h·ha⁻¹) de utilización de la maquinaria y un incremento en la eficiencia de la misma.

Gastos de explotación

Los gastos totales de las labores realizadas, fueron más bajos en el Sistema de Conservación que en el Sistema Conventional. Se contabilizó una diferencia de 444,18 Bs·ha⁻¹. El menor gasto total del Sistema de Conservación, es debido a la disminución de la preparación del suelo (Tabla 6).

Los resultados concuerdan con lo establecido por Collins *et al.* (1981), Frisby y Summers (1979), Hetz (1998), Summers *et al.* (1986), y Dos Reis (2000). Dichos autores señalan que la diferencia se origina principalmente en la cantidad de suelo removido y el roce que se produce con cada uno de los implementos de labranza. En el Sistema de Conservación se realizó una operación menos (pase de rastra) en comparación con el Sistema Conventional, lo cual significó el 76% de ahorro en los gastos totales y 44% de ahorro en tiempo de trabajo.

TABLE 6. Operating Costs (Bs·ha⁻¹) of the Conventional and Conservation Systems for Corn
TABLA 6.. Gastos de explotación (Bs·ha⁻¹) de los Sistemas Convencional y de Conservación para el maíz

Operations	Conventional System	Conservation System
Harrowing	222,83	-
Seeding	805,73	805,73
Spraying	587,10	587,10
Farming	195,94	196,65
Harvesting	200,00	200,00
Total	2 011,60	1 789,48
Percentage of the Total	100	89

The costs (Bs) of the two corn systems are shown in Table 7, and direct costs are lower in the Conservation System 94% than in the Conventional System.

En la Tabla 7 se muestran los costos (Bs) de los dos sistemas para el maíz, apreciándose también que los costos directos son menores en el Sistema de Conservación 94% con respecto al Sistema Convencional.

TABLE 7. Costs (Bs) of Conventional and Conservation Systems for Corn
TABLA 7. Costos (Bs) de los Sistemas Convencional y de Conservación para maíz

Operations	Conventional System	Conservation System
Land preparation	3 612,76	-
Seeding	1 748,25	1 748,25

Operations	Conventional System	Conservation System
Fertilization	16 484,04	16 484,04
Weed Control	3 736,03	3 736,03
Drainage	1 500,00	1 500,00
Monitoring	300,00	300,00
Pest Management	3 978,02	3 978,02
Biological Control	2 048,29	2 048,29
Disease Control	1 096,22	1 096,22
Foliar Fertilizer		
Adherents	110,00	110,00
Field cleaning	2 800,00	2 800,00
Harvest	22 780,00	22 780,00
Total Direct Costs	61 109.10	57 496.34
Percentage of the Total	100	94

In addition to this, the innumerable benefits inherent to the Conservation System can be summed up as less degradation of soils and the environment (Unger & Mccalla, 1980): FAO-INTA, 1992). In this sense Derpsch *et al.* (1986) argue that “direct seeding” can represent a 64-74% reduction in fuel oil consumption, that this system is a guarantee for sustainable, low-cost and perennial agriculture. With the development already achieved in direct seeding, it can be seen that Brazil already has technologies to subsidize other tropical and subtropical regions around the world.

CONCLUSIONS

- The results obtained in the analysis of variance show that there are no significant differences in moisture at both depths for the two treatments applied since the P-value equal to 0.49 and 0.39, respectively, for all cases are greater than 0,05
- The mean bulk density obtained of 1.69 and 1.68 g/ cm³ for treatments 1 and 2, respectively, does not cause interference in the application of treatments between plots.
- There is no statistically significant difference for resistance to penetration between both plots since all P values are higher than 0.05 according to the analysis of variance, from the depth of 10 to 30 cm, with 95% confidence in the applied treatments.
- The system that consumed less fuel was Conservation, with mean value of 28.9 L•ha⁻¹, compared to the Conventional System, whose mean value 137.24 L•ha⁻¹.
- The technology used in the Conservation System meant a saving of labor for consuming less time (4 h•ha⁻¹) of use of the machinery, an increase in its efficiency and a lower total energy costs, which represented 89% of the Conventional System, saving 3 400.40 MJ ha⁻¹, making it possible to save 108 L•ha⁻¹ of fuel.

A todo esto deben sumarse los innumerables beneficios inherentes al Sistema de Conservación, los que pueden resumirse en una menor degradación de los suelos y del medio ambiente (Unger y Mccalla, 1980; FAO, 1992). En este sentido Derpsch *et al.* (1986), plantean que “la siembra directa” puede representar una reducción entre 64 y 74% del consumo de combustible gasoil, que este sistema es una garantía para una agricultura sustentable, de bajo costo y perenne. Con el desenvolvimiento ya conseguido en la siembra directa, se observa que Brasil ya tiene tecnologías para dar subsidio a otras regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo”.

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en los análisis de varianza muestran que no hay diferencias significativas de la humedad a ambas profundidades para los dos tratamientos aplicados, dado que el P-valor igual a 0,49 y 0,39 respectivamente, para todos los casos son mayores a 0,05
- La densidad aparente media es de 1,69 y 1,68 g/cm³ respectivamente, para los tratamientos 1 y 2 obtenidos no provocan interferencia en la aplicación de los tratamientos entre parcelas.
- Entre ambas parcelas para la resistencia a la penetración no hay diferencia estadísticamente significativa ya que todos los p valor son superiores a 0,05 según el análisis de varianza, desde la profundidad de 10 a 30 cm, con un 95% de confiabilidad en los tratamientos aplicados.
- El Sistema que menos combustible consumió fue el de Conservación, con un valor medio de 28,9 L•ha⁻¹, con respecto al Sistema Convencional, cuyo valor medio fue de 137,24 L•ha⁻¹.
- La tecnología empleada en el Sistema de Conservación significó un ahorro de mano de obra, al invertir menos tiempo (4 h•ha⁻¹) de utilización de la maquinaria, un incremento en la eficiencia de la misma y un menor gasto energético total, que representó un 89% respecto al Sistema Convencional, ahorrando 3 400,40 MJ ha⁻¹ por lo que es factible ahorrar 108 L•ha⁻¹ de gasoil.

REFERENCES / REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARVIDSSON, J.; HÅKANSSON, I.: "Response of different crops to soil compaction—Short-term effects in Swedish field experiments", *Soil and Tillage Research*, 138: 56-63, 2014, ISSN: 0167-1987, DOI: 10.1016/j.still.2013.12.006.
- ASAE: *Agricultural engineers yearbook of standards*, [en línea], Ed. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, USA, 1993, Disponible en: <https://catalog.hathitrust.org/Record/009533406>, [Consulta: 29 de septiembre de 2016].
- BURHAN, O.; KURKLU, A.; AKCAOZ, H.: "An input–output energy analysis in greenhouse vegetable production: a case study for Antalya region of Turkey", *Biomass and Bioenergy*, 26(1): 89-95, 2004, ISSN: 0961-9534, DOI: 10.1016/S0961-9534(03)00080-1.
- CASANOVA, O.E.F.: *Introducción a la ciencia del suelo*, Ed. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico, Caracas, 379 p., 1996, ISBN: 978-980-00-0484-5.
- COLLINS, N.E.; WILLIAMS, T.H.; KEMBLE, L.J.: "Measured machine energy requirements for grain production systems", *ASAE Publ.*, 4-81, 1981, Disponible en: <https://www.osti.gov/scitech/biblio/6511154>, [Consulta: 23 de junio de 2016].
- DE LAS CUEVAS, M.H.R.; RODRÍGUEZ, H.T.; PANEQUE, P.; DÍAZ, Á.M.: "Costo energético del rodillo de cuchillas CEMA 1400 para cobertura vegetal", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3): 53-56, 2011, ISSN: 2071-0054.
- DE LAS CUEVAS, M.H.R.; RODRÍGUEZ, H.T.; PANEQUE, R.P.; HERRERA, P.M.I.: "Software para la determinación de los costos energéticos y de explotación de las máquinas agrícolas", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2): 78-84, 2009, ISSN: 2071-0054.
- DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C.H.: "Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil", *Soil and Tillage Research*, ser. Reduced Tillage - Rational Use in Sustained Production, III, 8: 253-263, 1986, ISSN: 0167-1987, DOI: 10.1016/0167-1987(86)90338-7.
- DOS REIS, E.F.: *Inter-relação solo-semente com duas semeadoras-adubadoras de plantio direto, em diferentes umidades de um solo argiloso*, Universidade Federal de Viçosa, Mestrado em Engenharia Agrícola, Viçosa, MG, Brasil, 51 p., 2000.
- FAO: *Manual de sistemas de labranza para América Latina*, [en línea], ser. Boletín de Suelos de la FAO, no. ser. 66, Ed. FAO, Roma, Italia, 193 p., Google-Books-ID: bpHSafz3Ma0C, 1992, ISBN: 978-92-5-303253-2, Disponible en: https://books.google.com/cu/books/about/Manual_de_sistemas_de_labranza_para_Am%C3%A9rica.html?id=bpHSafz3Ma0C&redir_esc=y, [Consulta: 23 de junio de 2016].
- FLUCK, R.C.: *Energy in farm production*, [en línea], Ed. Elsevier, Amsterdam, 367 p., 1992, ISBN: 978-0-444-88681-1, Disponible en: <https://www.elsevier.com/books/energy-in-farm-production/fluck/978-0-444-88681-1>, [Consulta: 23 de junio de 2016].
- FLUCK, R.C.; BAIRD, C.D.: *Agricultural energetics*, Ed. AVI Pub. Co., 192 p., Google-Books-ID: aXFRAAAAMAAJ, 1980, ISBN: 978-0-87055-346-2.
- FRISBY, J.C.; SUMMERS, J.D.: "Energy-Related Data for Selected Implements", *Transactions of the ASAE*, 22(5): 1010-1011, 1979, ISSN: 2151-0059, DOI: 10.13031/2013.35145.
- FUMAGALLI, M.; ACUTIS, M.; MAZZETTO, F.; VIDOTTO, F.; SALI, G.; BECHINI, L.: "An analysis of agricultural sustainability of cropping systems in arable and dairy farms in an intensively cultivated plain", *European Journal of Agronomy*, 34(2): 71-82, 2011, ISSN: 1161-0301, DOI: 10.1016/j.eja.2010.11.001.
- HERNÁNDEZ, A.P.M.: *Análisis del patinamiento en tractores de simple tracción a través de las teorías de predicción de tracción de ASAE y su contraste experimental*, [en línea], Universidad Politécnica de Madrid, Tesis de Doctorado, Madrid, España, 1998, Disponible en: <https://serviciosgate.upm.es/tesis/tesis/2893>, [Consulta: 23 de junio de 2016].
- HETZ, E.J.: "Energy utilization in fruit production in Chile", *Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America*, 29(2): 17–20, 1998, ISSN: 0084-5841.
- LÓPEZ, J.D.; VÁZQUEZ, C.; SALAZAR, E.; ZÚÑIGA, R.; TREJO, H.I.: "Sistemas de labranza y fertilización en la producción de maíz forrajero", *Phyton*, 79(1): 47-54, 2010, ISSN: 1851-5657.
- MEUL, M.; NEVENS, F.; REHEUL, D.; HOFMAN, G.: "Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119(1): 135-144, 2007, ISSN: 0167-8809, DOI: 10.1016/j.agee.2006.07.002.
- MOHAMMADHOSSEIN, R.; WAISMORADI, A.; HOSHANG, R.: "Energy Efficiency of Different Tillage Systems in Forage Corn Production", *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 4: 1644–1652, 2012, ISSN: 2227-670X.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN: *Geotecnia. Determinación del contenido de humedad de los suelos y rocas en el laboratorio*, no. NC 67:00, Sust. a las NC 54-236:83 y NC 54-353:86, 2000.
- PANEQUE, P.; MARRERO, E.; DE LAS CUEVAS, H.: "Determinación de la fuente energética para las labores mecanizadas de los cítricos", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 7(3): 25–32, 1998, ISSN: 2071-0054.
- PANEQUE, R.P.; FERNANDES, H.C.; DONIZETTE, de O.A.: "Comparación de cuatro sistemas de labranza/siembra en relación con su costo energético", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 11(2): 1–6, 2002, ISSN: 2071-0054.
- PANEQUE, R.P.; SOTO, L.D.: "Costo energético de las labores de preparación de suelo en Cuba", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 16(4): 17–21, 2007, ISSN: 2071-0054.
- PICK, E.: *Energy consumption and input-output relations of field operations*, [en línea], ser. CNRE study, no. ser. 3, Ed. FAO, Rome, 118 p., 1989, Disponible en: https://books.google.com/cu/books/about/Energy_Consumption_and_Input_output_Rel.html?id=_ZcnGwAACAAJ&redir_esc=y, [Consulta: 23 de junio de 2016].
- STOUT, B.A.: *Handbook of energy for world agriculture*, Ed. Elsevier Science Publishers, London, 504 p., 1990, ISBN: 978-1-85166-349-1.
- SUMMERS, J.D.; KHALILIAN, A.; BATCHELDER, D.G.: "Draft Relationships for Primary Tillage in Oklahoma Soils", *Transactions of the ASAE*, 29(1): 37-39, 1986, ISSN: 2151-0059, DOI: 10.13031/2013.30097.
- UNGER, P.W.; MCCALLA, T.M.: "Conservation Tillage Systems", *Advances in Agronomy*, 33: 1-58, 1980, ISSN: 0065-2113, DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60163-7.

USDA (DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS): *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*, [en línea], Ed. USDA, USA, 82 p., 1999, Disponible en: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf, [Consulta: 23 de junio de 2016].

Received: 30/10/2016.

Approved: 15/06/2017.

Pedro Paneque Rondón, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. E-mail: paneque@unah.edu.cu

Wolfgang Jiménez, E-mail: videofoca@gmail.com

Pablo Hernández-Alfonso, E-mail: phernand@unah.edu.cu

María Victoria Gómez-Águila, E-mail: mvaguila@hotmail.com.

Héctor R. De las Cuevas-Milán, E-mail: hector@unah.edu.cu

Alexander Miranda Caballero, E-mail: alex@inca.edu.cu

Note: the mention of commercial equipment marks, instruments or specific materials obeys identification purposes, there is not any promotional commitment related to them, neither for the authors nor for the editor.

