

INFLUENCIA DE CUATRO SISTEMAS DE LABOREO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE UN FLUVISOL Y EN EL BALANCE ENERGÉTICO EN CULTIVOS DE RAÍCES Y TUBÉRCULOS

INFLUENCE OF FOUR LABORATORY SYSTEMS IN THE PHYSICAL PROPERTIES OF A FLUVISOL AND IN THE ENERGY BALANCE IN ROOT AND TUBER CROPS

Autores: Dr. C. Luis Raúl Parra Serrano¹

Dr. C. José Luis Hernanz Martos²

Dr. C. Víctor Sánchez-Girón Renedo²

Institución: ¹Universidad de Granma, Cuba

²Universidad Politécnica de Madrid (UPM), España

Correo electrónico: lparras@udg.co.cu

RESUMEN

En los últimos años ha crecido la cantidad de energía que se invierte en los cultivos por el uso de fertilizantes, combustible y maquinaria, sin embargo las tecnologías de labranza no han evolucionado con igual rapidez. La presente investigación evaluó cuatro sistemas de laboreo (laboreo tradicional T1, laboreo con multiarado y grada de discos T2, laboreo con fresadora y subsolador T3 y laboreo con grada de discos y subsolador T4) y su influencia en la evolución de las propiedades del suelo, a través de la producción de cultivos de raíces y tubérculos (papa, boniato y yuca) y su consumo energético, en un fluvisol con textura franco arcilloso de la provincia cubana de Granma. Las tecnologías de labranza mínima presentaron mejor comportamiento, en particular la tecnología de multiarado y grada de discos T2, la cual mejora significativamente las propiedades físicas del suelo y con ello las condiciones para el desarrollo de los cultivos, obteniendo la mayor producción (33; 13 y 13,9 t ha⁻¹) en los tres cultivos respectivamente, el menor consumo de combustible, el mayor rendimiento de los conjuntos máquina tractor y el mejor balance energético con una eficiencia energética de (3,9; 4,9 y 12) en los tres cultivos respectivamente.

La granulometría del suelo después del laboreo y la calidad de la labranza lograda mediante este sistema de laboreo, así como el menor consumo de energía contribuyen a la conservación del suelo y a la reducción de los costes energéticos.

Palabras clave: Laboreo, Suelo, Balance Energético, Multiarado.

ABSTRACT

In recent years, the amount of energy invested in crops has increased due to the use of fertilizers, fuel and machinery, but the technologies of tillage have not evolved with equal speed. The objective of this work was to evaluate four tillage systems (traditional tillage T1, tillage with multiarado and tier of T2 discs, tillage with milling machine and subsoiler T3 and tillage with disc harrow and subsoiler T4) and its influence in the evolution of the properties Of the soil, through the production of roots and tubers (potato, sweet potato and cassava) and their energy consumption, in a fluvool with loamy texture of the Cuban province of Granma. The minimum tillage technologies presented better performance, in particular the multi-tiered technology and T2 treadmill, which significantly improves the physical properties of the soil and with it the conditions for the development of the crops, obtaining the highest production (33; And 13.9 t ha⁻¹) in the three crops respectively, the lower fuel consumption, the higher performance of tractor sets and the better energy balance with an energy efficiency of (3.9, 4.9 and 12) In all three crops respectively. The soil granulometry after tillage and the quality of the tillage achieved by this tillage system, as well as the lower energy consumption contribute to the soil conservation and the reduction of energy costs.

Keywords: Tilling, Ground, Energetic Balance, Multi-Plough.

INTRODUCCIÓN

El rápido proceso de mecanización que tuvo lugar en la agricultura cubana durante las dos décadas de los años sesenta y setenta del siglo pasado, adoptando técnicas y procedimientos análogos a los utilizados en la ya extinta Unión Soviética, indujo a pensar que se resolvería el problema del déficit en la producción de alimentos y del que se consideraba como principal responsable

a la escasa utilización de equipos mecánicos en el campo cubano. Las experiencias recogidas con el devenir de los años ha permitido reflexionar en todas las consecuencias que acarrea la mecanización de los cultivos y nos da una visión clara de que la solución no es el retorno a continuar con los primitivos métodos tradicionales de labranza, sino aprovechar las lecciones de los desastrosos pasados y establecer la mecanización sobre fundamentos más científicos, (García, 1999). Este modelo agrícola necesitó disponer de subsidios para la producción, 10⁶ ha de suelos empezaron a sufrir la salinización, se agudizó la erosión de los suelos, éstos se volvieron cada vez más compactos y áridos, se deforestaron terrenos agrícolas y se aceleró el éxodo de la población rural a las zonas urbanas, (Funes Monzote, 2004).

El suelo no posee características homogéneas que le permitan ser idóneo para todos los cultivos y se presenta mejor para uno que para otros, por lo que exige diferentes tratamientos para su mejor utilización y máximo aprovechamiento de su capacidad productiva, (Pagés, 1996; Martín, 1999).

La yuca, la papa y el boniato tienen un papel importante en la alimentación de más de 2 10⁹ personas, (Pimentel, 2009). Para estos cultivos de raíces y tubérculos el suelo debe quedar bien mullido en la zona de tuberización que generalmente se encuentra comprendida entre 4 y 25 cm. Nunca se insistirá lo suficiente sobre la influencia de la textura y estructura del suelo en el rendimiento de estos cultivos y para lograrlo debe recurrirse a cuantos medios permitan conseguirlo, como el laboreo y la adición de materia orgánica.

Para González (1993), el proceso tecnológico de laboreo tiene una importancia capital en cualquier cultivo, solamente en la labor de aradura se invierte del 30 al 35 % de los gastos totales de energía. Varias investigaciones han establecido que el coste energético por concepto de combustible y maquinaria representa un alto porcentaje del coste energético total de producción en la agricultura (FAO, 1990; Fluck, 1992; Hetz y Barrios, 1997).

Según Leyva *et al.* (1997) el laboreo es un factor importante por su marcada influencia en la siembra, en el rendimiento de la cosecha, coste de producción, incidencia en la conservación del medio, consumo energético, así como, por su dependencia de las condiciones edafoclimáticas.

El laboreo convencional o tradicional requiere una serie de labores con las que progresivamente se va a obtener el estado deseado. El agricultor que en muchas zonas se identifica como labrador, es feliz cuando contempla sus campos con una superficie formada por suelo fino y mullido, libre de malezas y con todos los restos de vegetación convenientemente enterrados (Urbano, 1992). El bajo rendimiento energético que suponen, junto con la erosión y la degradación de la estructura del suelo (compactación) que provoca el paso reiterado de las máquinas, hace que en los últimos años se esté produciendo un progresivo abandono del laboreo convencional a favor de técnicas en las que éste se reduzca o incluso se anule (Blanco, 2007).

Dada la importancia, complejidad y coste, la preparación de suelos requiere de la aplicación de tecnologías de laboreo mínimo, las cuales permiten reducir dicho coste y los plazos de ejecución, así como mejorar la conservación de los suelos. Actualmente, se desarrollan en el mundo diferentes sistemas de laboreo basados en estos principios empleando diferentes combinaciones de órganos de trabajo, máquinas y aperos. No obstante, en Cuba predomina aún el laboreo tradicional, aplicando varias pasadas de arados de discos y gradas de discos, por lo que se encarece el proceso de laboreo y se afecta el suelo. En los últimos años se está generalizando la utilización de un sistema de laboreo mínimo basado en el empleo del escarificador con saetas, conocido como «Multiarado», el cual ha dado buenos resultados en suelos ligeros y medios en algunos cultivos.

En Cuba los sistemas de laboreo mínimo no han alcanzado gran difusión a pesar de sus bondades. Los actuales sistemas de labranza en los cultivos de raíces y tubérculos producen un sobre laboreo que incide directamente en los bajos rendimientos del cultivo y en el elevado consumo energético registrado. Estos dos aspectos constituyen el problema científico de este trabajo de investigación.

Como hipótesis de trabajo se consideró que los sistemas de labranza mínima con aperos de corte vertical y horizontal sin volteo del suelo, permiten mejorar los resultados agros productivos de los cultivos y disminuir el consumo de energía.

Objetivo general: Evaluar diferentes sistemas de laboreo y su influencia en la evolución de las propiedades físicas del suelo y en la producción de los cultivos de raíces y tubérculos (patata, boniato y yuca), así como comparar el consumo energético que los mismos conllevan.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en la Unidad Básica de Producción Cooperativa (UBPC) El Palmar, perteneciente a la Empresa de Cultivos Varios Paquito Rosales Benítez de Veguitas, municipio de Yara, provincia oriental de Granma en Cuba.

El diseño experimental utilizado fue en split-plot en tiempo y espacio (Carmer et al., 1989) para las variables, densidad aparente, porosidad al aire y humedad, las cuales se evaluaron a tres profundidades (0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm), así como para la resistencia a la penetración que se evaluó a las profundidades de (10, 20 y 30 cm). Con respecto a las variables del cultivo y energéticas el diseño fue de bloques al azar con cinco repeticiones o bloques y cuatro tratamientos. Mediante este diseño también se evaluó la granulometría del suelo después del laboreo. En cada tratamiento se realizaron un total de 10 observaciones de cada una de las variables medidas en el suelo y en el cultivo. En cada bloque se dispuso de 1 m de separación entre las parcelas experimentales y de pasillos de 5 m de separación entre los bloques para permitir el viraje de la maquinaria. Las variables del cultivo evaluadas fueron la masa de la semilla agrícola, profundidad de plantación, cantidad de tallos por metro lineal y la producción o rendimiento del cultivo como variable respuesta. Las variables energéticas evaluadas fueron la energía de uso directo, energía de uso indirecto y rendimiento energético del cultivo.

Sistemas de laboreo evaluados (Tratamientos)

T1 – Sistema de laboreo tradicional o convencional.

T2 – Sistema de laboreo mínimo con multiarado y grada de discos.

T3 – Sistema de laboreo mínimo con fresadora y subsolador.

T4 – Sistema de laboreo con subsolador y grada de discos.

Se realizó un análisis de varianza con los datos experimentales obtenidos considerando como factores fijos a los sistemas de laboreo (tratamientos) y a

las seis fechas de toma de datos consideradas en cada cultivo. El procesamiento de los datos se realizó con el programa STATISTICA versión 6.0. Cuando se detectaron diferencias significativas entre las medias de cada variable estudiada, la separación de las mismas se comprobó aplicando la prueba de rangos múltiples de Duncan para $p < 0,01$.

Se plantaron tres cultivos de raíces y tubérculos en la misma superficie experimental con igual ubicación de los bloques y tratamientos y en la misma fecha para cada cultivo con la secuencia siguiente. Papa del 21 de diciembre de 2005 al 21 de marzo de 2006 (90 días), variedad Spunta utilizando semilla agrícola calibrada procedente de Holanda, con un marco de plantación de 0,9 m entre surcos y 0,2 m entre semillas, plantadas sobre el camellón a una profundidad de 10 cm. Boniato del 25 de enero al 31 de mayo de 2007 (127 días) variedad INIVIT B 98–9 (INIVIT, 2008b) procedente de un banco de semillas agrícolas de la propia empresa (Anexo 9), con un marco de plantación de 0,9 m entre surcos y 0,3 m entre semillas, plantadas sobre el camellón a una profundidad de 7-10 cm quedando enterradas las 2/3 partes de la semilla agrícola. Yuca del 21 de julio del 2007 al 17 de enero de 2008 (180 días) variedad Enana Rosada (INIVIT, 2008a) procedente de un banco de semillas agrícolas de la propia empresa (Anexo 12), con un marco de plantación de 1,4 m entre surcos y 0,7 m entre semillas agrícolas, plantadas sobre el camellón a una profundidad de 7-10 cm y se realizó de manera manual. Las atenciones culturales se realizaron por igual y en la misma fecha para cada cultivo de acuerdo a lo establecido por (MINAG, 2003) para el cultivo de la patata y en los Instructivos Técnicos para el cultivo del boniato (INIVIT, 2004b) y para el cultivo de la yuca (INIVIT, 2004a).

Se determinó la densidad aparente o densidad de volumen mediante el método de cilindros cortantes y de volumen constante de relación diámetro/altura mayor a 1 (Schoenholtz et al. 2000), la densidad de la fase sólida del suelo se calculó siguiendo la metodología clásica reportada por Kaurichev, (1984), comparando la masa de los sólidos del suelo de la muestra tomada con el de un volumen igual de agua, la porosidad del suelo al aire (P_{aire}), la resistencia a la penetración o dureza del suelo se determinó con un penetrómetro digital Marca FIELDSCOUT Modelo: SC 900 SN: 328 el cual registra los valores cada

2,5 cm hasta 45 cm de profundidad. El grado de fragmentación del suelo se determinó tamizando el suelo contenido en 1 m² tal como queda después de labrado, utilizando un marco metálico y un juego de tamices en orden descendente de 150, 100, 75, 50, 25 y 10 mm de diámetro. Esto nos permitió determinar el diámetro medio ponderado (WMD o DMP), (Hillel, 1998).

Parámetros evaluados a los cultivos: Evaluación de la semilla agrícola, Profundidad de plantación, Cantidad de tallos por metro lineal, Rendimiento agrícola del cultivo.

Evaluación tecnológico explotativa de las tecnologías estudiadas. Se evaluó cada labor de los respectivos sistemas de labranza teniendo en cuenta la norma ramal del Ministerio de la Agricultura de Cuba, NRAG XX1: 2005.

Evaluación energética del proceso de producción de los cultivos. Se utilizó el procedimiento propuesto por (Bowers, 1992), en el cual se calcula la energía total consumida (GJ ha⁻¹) para cada cultivo, teniendo en cuenta las energías de uso directo e indirecto, así como el rendimiento energético del cultivo (GJ t⁻¹), el coeficiente de eficiencia energética del cultivo (ratio) y el coeficiente de energía neta del cultivo (NER), teniendo en cuenta las energías secuestradas en la maquinaria por conceptos tales como, materiales de construcción, fabricación, transporte, combustible, lubricantes, mantenimiento y reparación, mano de obra necesaria para operarlas y capacidad de trabajo, la energía utilizada en el riego, la energía humana y animal así como la energía secuestrada en los insumos utilizados en los cultivos (fertilizantes y pesticidas).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución de la densidad aparente del suelo. Es una de las variables del suelo más útiles de medir debido a su versatilidad, su asociación con otras propiedades importantes del suelo y la relativa facilidad de medición. Schoenholtz et al. (2000) comentan que esta variable se puede utilizar para hacer comparaciones en suelos de la misma textura. El análisis en general confirmó que en el sistema de labranza convencional (T1), o aquellos en los cuales se realiza un elevado número de labores (T4) el suelo mostró la tendencia a regresar a su estado inicial más rápidamente que en los sistemas de labranza mínima (T2 y T3), en los cuales se producen agregados de suelo

de mayor tamaño. Estas deficiencias del laboreo tradicional han sido señaladas por Rodríguez y Rizo (1998); Leyva y Parra (2001); Márquez (2001); Hernández y López (2002); Franzluebbbers (2002). De igual manera, Cadena y Gaytán (2004) y Ferrer (2007) reafirmaron este planteamiento.

Evolución de la Humedad del suelo. La humedad del suelo constituye una medida importante para establecer aspectos funcionales de la relación suelo-planta por su interacción con la resistencia mecánica y con el nivel agregación (Van Alphen *et al.*, 2001 y Rienzi *et al.*, 2004). Con el tiempo la humedad disminuyó desde la fecha tres a la seis donde se alcanzan valores cercanos pero superiores al momento antes de la labranza, por el efecto de compactación que va sufriendo el suelo con el tiempo. Por capas, el contenido de humedad aumenta según la profundidad, presentando en casi todas las fechas diferencias significativas entre los tres niveles o al menos los dos primeros respecto al tercero. Se comprobó que los sistemas de laboreo mínimo conservan mejor la humedad que el tradicional (Navarro *et al.*, 2000; Cadena y Gaytán, 2004). Siendo T2 el que mejor se comportó con mayor retención del agua en el suelo beneficiosa para el desarrollo de los cultivos y el peor comportamiento en T1.

Evolución de la porosidad al aire del suelo. La porosidad es una propiedad que guarda mucha relación con la humedad y el contenido de aire del suelo, porque los poros determinan hasta el 50 % del volumen del suelo (Ávila, 1995). La evaluación de este parámetro con el tiempo muestra disminución de la porosidad desde el laboreo hasta la fecha antes de la cosecha por el efecto de compactación que se va produciendo en el mismo, que incrementa la densidad aparente del suelo y reduce el espacio poroso, la disponibilidad de agua aprovechable para las plantas y la capacidad de aireación. En correspondencia con el análisis anterior de la densidad, los mejores resultados se obtuvieron en los dos sistemas de laboreo mínimo (T2 y T3) y el peor resultado en el sistema tradicional T1.

Evolución de la resistencia a la penetración del suelo. La resistencia a la penetración del suelo es muy utilizada para analizar la calidad de las propiedades físicas del suelo (Soane y Van Ouwerkerk, 1994; Breune *et al.* 1996; ASAE, 1990; Márquez, 2001) y también constituye un buen indicador

para evaluar problemas de restricción al desarrollo de las raíces provocados por la compactación o baja porosidad (Sands *et al.*, 1979; Ortiz-Cañavate y Hernanz, 1989; Tiarks y Haywood, 1996; Kelting *et al.*, 1999).

En todas las fechas la resistencia aumentó según la profundidad. La profundidad de 10 cm difiere generalmente de las otras dos que son iguales estadísticamente pero con mayor valor en 30 cm lo que concuerda con lo planteado por Lal *et al.* (1989) y Anazodo *et al.* (1991) que refieren que la resistencia a la penetración de un suelo aumenta con la profundidad. Los resultados en general son superiores a 2 MPa considerados como limitantes para el desarrollo de varios cultivos (Ehlers *et al.*, 1983; Tiarks y Haywood, 1996; López y Arrue, 1997; Gomar, 2005 y Castillo, 2008). Sin embargo en la profundidad hasta 20 cm, así como sus valores medios están dentro del rango hasta 3,2 MPa (Vepraskas *et al.*, 1986); hasta 3,5 MPa (Arshad *et al.*, 1996; Merotto y Mundstock, 1999) y hasta 4 MPa (Dexter, 1998).

Diámetro medio ponderado de los agregados del suelo después del laboreo. El tamaño de los agregados del suelo después del laboreo tiene una gran influencia en la germinación y posterior desarrollo del cultivo. En los tres cultivos existió diferencia significativa entre todos los tratamientos, obteniendo el mayor valor en T2, seguido de T4, T3 y T1. El valor medio del diámetro medio ponderado de las fracciones de suelo después del laboreo en los tres cultivos en ese mismo orden fue de los 50, 30, 20 y 15 mm respectivamente, con predominio en T2 de agregados de suelo de mayor diámetro y menor cantidad de agregados menores de 10 mm de diámetro que son peligrosamente erosivos por el viento o el agua (Leyva y Parra, 2001). Por otra parte, los agregados de suelo de mayor diámetro mantienen durante un tiempo más prolongado el esponjamiento del suelo y bajos valores de la densidad aparente tan beneficiosos para el desarrollo de las raíces y el incremento de los rendimientos en los cultivos. Por el contrario, los menores valores favorecen el apelmazamiento y compactación del suelo por efecto del agua, el peso del propio suelo y las prácticas culturales (Russell *et al.*, 1968; Vélez, 2002; Díaz, 2005). Los resultados obtenidos coinciden con los observados por Cadena y Gaytán, (2004) para el multiarado en México en un suelo arcilloso que reportan valores de 53,2 mm confirmando las buenas cualidades de este apero en la

labranza, siendo aún algo superiores a los reportados por ellos (10,8 mm) para el laboreo convencional.

Producción de los cultivos. En la papa el mayor rendimiento correspondió a T2, siendo superior a los demás tratamientos en un 10%, aunque el menor valor correspondió al laboreo tradicional. El resultado obtenido de 33 t ha⁻¹, si bien es inferior a las potencialidades del cultivo (50 a 60 t ha⁻¹) alcanzadas generalmente en otras latitudes (Pimentel, 2009), coincide con el rendimiento adecuado para el mismo citado por Martínez (2006) que establece de 30 a 35 t ha⁻¹. Los restantes tratamientos aunque son diferentes de T2 se acercan bastante al límite inferior de este rango, siendo ligeramente superiores a lo obtenido por Mohammadi *et al.* (2008) y superiores a la media mundial y de los países latinoamericanos (FAO, 2003).

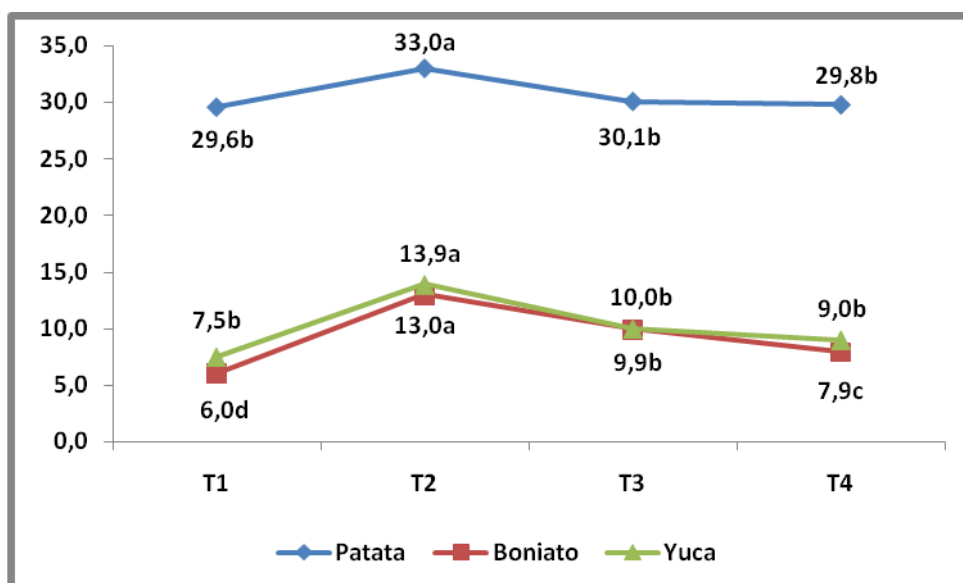


Gráfico 1. Producción (t ha⁻¹) de los tres cultivos.

El resultado logrado en la tecnología de laboreo mínimo T2 (multiarado y grada de discos) es un 27 % superior al considerado como adecuado por el Ministerio de la Agricultura en Cuba (MINAG, 2000), un 30 % y un 35 % superior a los mejores resultados alcanzados con la tecnología tradicional en la empresa y en el área donde fue realizada la investigación respectivamente (González, 2002; Farraell, 2004; Bayester, 2005). Y solo un 2,7 % inferior a los mejores resultados históricos reportados en Cuba en la región occidental del país donde

existen mejores condiciones de clima y suelo para este cultivo que en la región oriental (Martínez, 2006).

En el boniato existe diferencia significativa entre todos los tratamientos, señalando una elevada susceptibilidad del cultivo al lecho de plantación al menos en la época en que se desarrolló el cultivo (primavera) con el mayor rendimiento para T2, que resultó un 24 %; 39 % y 54 % superior a T3, T4 y T1. El resultado alcanzado en T2 (13 t ha^{-1}), es apenas el 30 % de las potencialidades del cultivo (35 a 56 t ha^{-1} ; Morales, 1980; INIVIT, 2008b), pero es un 54 % superior a la media de Cuba en los últimos años (Morales *et al.*, 2004) y un 23 % superior al mínimo establecido por el Ministerio de la Agricultura en Cuba (10 t ha^{-1} ; MINAG, 2000). Los restantes tratamientos fueron inferiores a este valor.

En el cultivo de la yuca se presenta también el mayor rendimiento en T2 con diferencia significativa respecto a los demás, siendo un 28; 35 y 46 % superior a T3, T4 y T1. El mayor valor obtenido en este tratamiento ($13,9 \text{ t ha}^{-1}$), es un 30 % inferior del menor límite de las potencialidades del cultivo (20 hasta 50 t ha^{-1} ; INIVIT, 2003). Siendo ligeramente inferior a los resultados promedio alcanzados en los principales países productores (Cock, 1997; Pimentel, 2007; 2009); un 36 % mayor que los reportados en Granma con laboreo convencional (Estrada y Argente, 2004) para la variedad estudiada y un 7% superior al mejor resultado en la cubana provincia de Villa Clara (Milián *et al.*, 2000).

Sistemáticamente el rendimiento fue superior en T2 para los tres cultivos, seguido de T3, T4 y T1 por lo cual podemos afirmar que existe una relación directa entre la calidad de la labranza y el rendimiento agrícola en estos cultivos de raíces y tubérculos para un suelo Fluvisol en las condiciones edafoclimáticas de la provincia cubana de Granma.

Consumo de combustible en el laboreo.

Al emplear los mismos conjuntos en igual suelo para los tres cultivos los resultados fueron similares, por lo cual se tomaron los valores promedios de cada sistema de labranza para el análisis. El menor consumo de combustible correspondió a T2 con diferencia significativa respecto a los demás, seguido de T3 que a su vez es diferente de T4 y T1. Queda muy claro que las tecnologías

de laboreo mínimo al utilizar menor cantidad de conjuntos y menos labores disminuyen el consumo de combustible, así como el coste asociado al mismo.

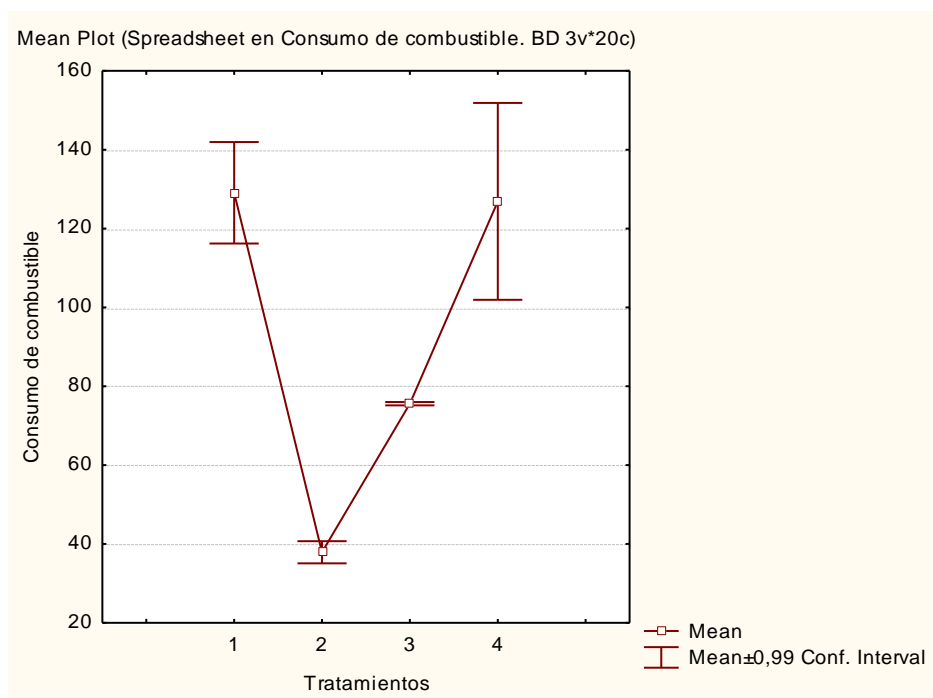


Gráfico 2. Consumo de combustible ($L ha^{-1}$) en los conjuntos de labranza para los tres cultivos.

Rendimiento energético y ratio en los cultivos.

Los resultados obtenidos en el rendimiento energético y ratio en el cultivo de la patata. Existe diferencia significativa en la energía que se invierte (input) en las tecnologías de laboreo mínimo T2 y T3 respecto al laboreo convencional T1 y a T4. Siendo un 6; 17 y 19 % superiores a T2; por el contrario, los egresos de energía (output) resultaron alrededor del 10 % superior en T2 y el ratio fue mayor también en T2 en un 12; 23 y 25 % respectivamente.

Cultivo	Trat.	Input (GJ t⁻¹)	Input (GJ ha⁻¹)	Output (GJ ha⁻¹)	Ratio (O/I)	NER (O-I)/I
Patata	T1	1,24a	36,1a	106,4c	2,95c	1,95c
	T2	0,92c	30,3c	118,6a	3,91a	2,91a
	T3	1,07bc	32,2bc	108,2ab	3,44ab	2,36ab
	T4	1,20ab	35,5ab	107,1bc	3,02bc	2,02bc

Tabla 1. Energía total consumida (input: GJ t⁻¹; GJ ha⁻¹), energía asociada a la cosecha (output GJ ha⁻¹), eficiencia energética (ratio) y coeficiente de energía neta (NER) en el cultivo de la patata.

En una columna las cifras seguidas por la misma letra minúscula no son significativamente diferentes (P<0,01).

La energía consumida (input) resultó superior a lo planteado por Hülsbergen *et al.* (2001) que obtuvieron 24,4 GJ ha⁻¹, similar a Pimentel (2007) e inferior a (Börjesson, 1996; Seyed, 2006; Mohammadi *et al.*, 2008; Neira *et al.*, 2000; Ozkan *et al.*, 2003; Pimentel, 2009). La energía asociada a la cosecha (output) fue superior a lo reportado por (Pimentel, 2007; Seyed, 2006; Neira *et al.*, 2000); similares a (Mohammadi *et al.*, 2008; Hülsbergen *et al.*, 2001) e inferior a Börjesson (1996). El ratio obtenido en T2 fue inferior al valor de 4,3 alcanzado por Hülsbergen *et al.* (2001); similar a Börjesson (1996) y superior al resto de los autores citados, debido al uso de energías renovables en varios procesos del cultivo como la energía humana y animal que disminuyeron el consumo de energía total del cultivo e incrementaron el ratio (Canakci y Akinci, 2006). El NER también de igual manera fue favorable a T2.

En la Tabla 2 se encuentran los resultados obtenidos en el rendimiento energético y ratio en el cultivo del boniato donde se observa que existió diferencia significativa entre todos los tratamientos en la energía consumida, con el menor valor en T2 el cual fue un 14; 27 y 31 % menor que en T3, T4 y T1. De igual manera se comportó el ratio que fue un 33; 52 y 65 % respectivamente. El NER de igual manera fue superior en T2 que presentó el

mayor rendimiento agrícola y en detrimento de T1 por igual causa. La entrada de energía reportada por Pimentel (2007) en Vietnam es superior a todos los tratamientos y la salida de energía es superior a los sistemas tradicionales T1 y T4, similar e inferior a los sistemas de labranza mínima T3 y T2. Todos los resultados son inferiores a lo planteado por Miller y Close (1992) citados por Chirgwin (1999); siendo T2 el tratamiento que más se acercó, aunque resultó un 37% inferior al reportado por éste para el cultivo extensivo.

Cultivo	Trat.	Input (GJ t⁻¹)	Input (GJ ha⁻¹)	Output (GJ ha⁻¹)	Ratio (O/I)	NER (O-I)/I
Boniato	T1	3,00a	17,57a	29,9d	1,70d	0,70d
	T2	1,06d	13,41d	65,2a	4,86a	3,86a
	T3	1,55c	15,24c	49,7b	3,26b	2,26b
	T4	2,18b	17,01b	39,7c	2,33c	1,33c

Tabla 2. Energía total consumida (Input: GJ t⁻¹; GJ ha⁻¹), energía asociada a la cosecha (output GJ ha⁻¹), eficiencia energética (ratio) y coeficiente de energía neta (NER) en el cultivo del boniato.

En una columna las cifras seguidas por la misma letra minúscula no son significativamente diferentes (P<0,01).

Se mantiene el menor valor de la energía invertida en T2 con diferencia significativa respecto a los demás, resultando inferior en un 30; 58 y 63 % a T3, T4 y T1. Por el contrario la energía de salida del cultivo resultó mayor en T2, siendo un 28; 35 y 54 % mayor. Así mismo el ratio correspondiente a T2 superó a las demás en un 44; 59 y 67 %. La energía de entrada al cultivo resultó similar a Chamsing et al. (2006) en Tailandia; un 16 % del reportado por Pimentel (2007) para Tailandia, Colombia y Vietnam y un 50 % superior a lo planteado por éste para Angola. La salida de energía del cultivo y el ratio en T2 fue similar a Chamsing et al. (2006) e inferior en los restantes tratamientos. El ratio tuvo igual comportamiento que en los cultivos anteriores; el valor obtenido en todos los tratamientos es superior al planteado por Pimentel (2007) para

Tailandia, Colombia y Vietnam, siendo inferior al mejor resultado planteado por éste (23) en Angola.

Cultivo	Trat.	Input (GJ t ⁻¹)	Input (GJ ha ⁻¹)	Output (GJ ha ⁻¹)	Ratio (O/I)	NER (O-I)/I
yuca	T1	1,42a	10,54a	42,17d	4,00d	3,00d
	T2	0,48d	6,46d	77,62a	12,02a	11,02a
	T3	0,84c	8,38c	56,22b	6,71b	5,71b
	T4	1,16b	10,21b	50,18c	4,91c	3,91c

Tabla 3. Energía total consumida (Input: GJ t⁻¹; GJ ha⁻¹), energía asociada a la cosecha (output GJ ha⁻¹), eficiencia energética (ratio) y coeficiente de energía neta (NER) en el cultivo de la yuca.

En una columna las cifras seguidas por la misma letra minúscula no son significativamente diferentes (P<0,01).

CONCLUSIONES

El sistema de laboreo mínimo con multiarado y grada de discos T2 y el de fresadora y subsolador T3 mejoraron significativamente las propiedades físicas del suelo respecto al tradicional T1 que utiliza arados de discos, subsolador y gradas de discos y al T4 con subsolador y grada de discos, obteniendo los menores resultados de la densidad aparente, mayor porosidad y humedad del suelo y menor resistencia a la penetración, todo lo cual favorece el desarrollo de los cultivos de raíces y tubérculos.

El diámetro medio ponderado de los agregados de suelo después del laboreo, resultó mayor en el sistema de laboreo mínimo con multiarado y grada de discos T2, manteniendo el efecto del laboreo en el suelo y este mullido por más tiempo que en los restantes sistemas de laboreo. El rendimiento de los cultivos fue superior en el sistema de laboreo mínimo con multiarado y grada de discos T2, en un 10% en el cultivo de la papa, del 20 al 50 % en el cultivo del boniato y

del 30 al 45 % en el cultivo de la yuca respecto a los demás sistemas de laboreo, en correspondencia con la calidad de la labor evaluada mediante las propiedades físicas del suelo. Los mejores resultados explotativos de los conjuntos empleados en los diferentes sistemas de laboreo correspondieron a T2, dado por el frente de labor del multiarado que casi duplica el del arado de discos, la elevada velocidad de trabajo de éstos conjuntos y el menor consumo de combustible, así como del coste que va asociado al mismo, al efectuar la menor cantidad de labores.

El sistema de laboreo mínimo con multiarado y grada de discos T2 presentó el mejor comportamiento energético, con los menores consumos y los mayores contenidos de energía en la cosecha en los tres cultivos; con un ratio superior a los demás sistemas de laboreo del 10 al 25 % en la papa, del 30 al 65 % en el boniato y del 40 al 70 % en la yuca. De manera integral los sistemas de laboreo mínimo presentaron mejor comportamiento en las variables del suelo, del cultivo y energéticas. El sistema de laboreo con multiarado y grada de discos T2 obtuvo los mejores resultados, validando su posible aplicación para cultivos de raíces y tubérculos en las condiciones edafoclimáticas evaluadas. Los resultados obtenidos del diámetro medio ponderado de los agregados de suelo después de la labranza así como el balance energético nos confirma que los sistemas de laboreo mínimo, en primer lugar el de multiarado y grada de discos T2 conservan mejor el recurso suelo.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- ÁLVAREZ, R.L.; PANEQUE, R.P.; ÁLVAREZ, O. Y BRIZUELA, S.M.: *Costo energético de las operaciones de siembra más comunes en Cuba*, IIMA, MINAG, 2006.
- BARZEGAR, A.R.; ASOODAR, M.A.; KHADISH, A.; HASHEMI, A.M. Y HERBERT, S.J.: «Soil physical characteristics and chickpea yield responses to tillage treatments», *Soil & Tillage Research*, Vol. 71, 49–57, 2003.
- BLANCO, G.: «Maquinaria y equipos para laboreo mínimo y convencional», *Vida Rural*, No. 253, pp. 68-73, 2007.
- BOUZA, H.: *Labranza mínima, nueva tecnología para el cultivo de la caña de azúcar*, 1981.
- BOWERS, W.: «Agricultural field equipment. In: Fluck, R.C. (Ed.) », *Energy in*

- World Agriculture, *Energy in Farm Production*, vol. 6. Elsevier, Amsterdam, pp. 117–129, 1992.
- CANAKCI, M. Y AKINCI, I.: «Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production», *Energy* 31, 1243–1256, 2006.
- CHAMSING, A.; VILAS, M.S. Y SINGH, G.: «Energy Consumption Analysis for Selected Crops in Different Regions of Thailand», *Agricultural Engineering International*, Vol. VIII. 2006.
- DASH, S.S. Y MISRA, M.K.: «Studies on hill agro-ecosystems of three tribal villages on the Eastern Ghats of Orissa, India», *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86 (2001) 287-302, 2000.
- FLUCK, R.: «Net energy sequestered in agricultural labour», USA, *Transactions of the ASAE*, v.24, n.6, p.1449-1455, 1981.
- FRANZLUEBBERS, A.J.: «Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality», *Soil & Tillage Research*. 66, 95-106, 2002.
- GREEN, M.B.: «Energy in pesticide manufacture, distribution and use. In Z.R. Helsel (Ed.) » *Energy in World Agriculture 2* (1987) 165-177, Amsterdam, The Netherlands, 1987.
- HERNANZ MARTOS, J.L.: «Los Sistemas de Laboreo (I). Del tradicional al no laboreo», *Terralia*. Año 6(26): 40-44, 2002.
- LEYVA, S.O. Y PARRA S.L.: *Apuntes de la conferencia sobre tecnologías de preparación de suelos*, En: Seminario provincial sobre caña de azúcar para los subdirectores agrícolas de los CAI del MINAZ, 2001.
- MANDAL, K.G.; SAHA, K.P.; GHOSH, P.K.; HATI, K.M. Y BANDYOPADHYAY, K.K.: «Bioenergy and economic analysis of soybean-based crop production systems in central India», *Biomass and Bioenergy* 23, pp. 337-345, 2002.
- PANEQUE, R.P.; LEÓN, N.P. Y GONZÁLEZ, O.N.: «Reducción del costo energético utilizando labranza cero en el cultivo del frijol», *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 14, N° 1, pp.33-36, 2005.
- PIMENTEL, D.: «Energy Inputs in Production Agriculture». *Energy in World Agriculture*, Vol. 6, pp. 13-29, Edited by Fluck, R.C., New York, 1992.