

AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN

ARTÍCULO ORIGINAL

Régimen hídrico en un suelo Ferralítico cultivado con maíz bajo principios de agricultura de conservación

Water regime in a Ferrasol sown with corn under principles of conservation agriculture

M.Sc. Amaury Rodríguez-González, Dr.C. Teresa López-Seijas, M.Sc. José A. Martínez-Cañizares, Dr.C. Julián Herrera-Puebla, Dr.C. Oneyda Hernández-Lara.

Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana, Cuba.

RESUMEN. El objetivo de este trabajo es realizar una primera evaluación del efecto del cultivo del maíz bajo principios de Agricultura de Conservación (AC) sobre el régimen hídrico de un suelo Ferralítico Rojo compactado al sur de La Habana. El estudio se realizó en áreas de la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, situada en Pulido en el municipio de Alquizar, provincia Artemisa. Se estableció un área experimental bajo AC de 1,5 hapa para la siembra directa del cultivo del maíz en asociación con canavalia y otra área de 0,5 ha, donde se sembró maíz bajo labranza convencional (LC). Se evaluaron propiedades físicas del suelo en el área bajo AC como textura, densidad volumétrica o aparente, contenido de materia orgánica y curvas tensión-humedad. Se siguió la dinámica de humedad del suelo con una sonda electromagnética tipo TDR y se cuantificó un balance hídrico hasta la profundidad radical (30 cm) por el método de balance de masas. Los resultados mostraron que en este primer ciclo de cultivo de maíz+canavalia bajo principios de AC, se produce una reducción del 19% de la densidad aparente el suelo hasta la profundidad de 30 cm y una reducción de los valores de evaporación desde la superficie del suelo que reducen la evapotranspiración diaria en los momentos de mayor desarrollo y contribuyen a una disminución potencial de un 8% de las necesidades de riego. Los rendimientos totales del maíz aumentaron en un 48% a favor del área de agricultura de conservación.

Palabras clave: siembra directa, asociación cultivos, propiedades suelo, balance hídrico.

ABSTRACT. The objective of this work is to do a first evaluation of the effect on water regime of corn sowed under principles of conservation agriculture (AC) in a Ferrasol of the south of Havana. The study was done in areas of the Experimental Station of the Institute of Agricultural Engineering Research, located at Pulido, Alquizar municipality, Artemisa province. It was established an experimental area under AC of 1.5 ha for direct seeding of corn in association with canavalia bean and other area of 0.5 ha where was sown corn under conventional farming. It was evaluated soil's physical properties as texture, bulk density, organic matter content and water-tension curves. The dynamics of water was registered with an electromagnetic probe type TDR and was quantified the hydric balance to the depth of 30 cm by mass balance method. The results show that this first cycle of corn-canavalia association under AC principles, produces a decrease of 19 % in soil's bulk density at 30 cm depth and a decrease of soil's surface evaporation that allow reduce the values of dayfly evapotranspiration in the state of major developing of the crop and contributes to a potential diminution of irrigation.

Keywords: direct seeding, crop association, soil properties, hydric balance.

INTRODUCCIÓN

La Agricultura de Conservación (AC) se ha desarrollado en los últimos años como una estrategia eficaz contra la degradación de los suelos y su principio de cero labranza la convierte en una tecnología revolucionaria de la practica agrícola convencional. Autores reconocidos en esta temática la definen como un modelo que apunta hacia una agricultura sustentable y redituable, que constituye una solución efectiva para detener la degradación de las tierras agrícolas, su rehabilitación y para una

intensificación de la producción agrícola de forma sostenible (Montgomery, 2007; Friedrich, 2016).

Se estima que más de 100 millones de hectáreas de la superficie arable de la tierra desarrollan sistemas de AC (Ling-Ling *et al.*, 2011), la que basa sus principios en la menor alteración posible del suelo, rotación de cultivos y mantenimiento de una cobertura permanente de estos vegetales en el suelo (Friedrich *et al.*, 2009; Mejías *et al.*, 2013).

Según González (2013) la cobertura permanente sobre la superficie del suelo provoca cambios importantes en los suelos ya que la modificación del régimen térmico y de humedad de los mismos tiene consecuencias en todos los procesos químicos y biológicos que son importantes para la vida de las plantas. Además influye en los parámetros físicos del suelo como por ejemplo la densidad y la porosidad.

En Cuba la causa fundamental de la lenta adopción de la Agricultura de Conservación se debe a la existencia de una cultura acumulada de años de que la labranza convencional es imprescindible para la siembra y desarrollo de los cultivos con sistemas tradicionales que se basan en el uso excesivo de arados y gradas de discos. No obstante, recientemente ha sido aprobada como política del país una Hoja de Ruta para la adopción a mediano y largo plazo de las prácticas de AC como contribución al desarrollo sostenible del sector agropecuario cubano.

En este marco se ha impulsado el desarrollo de investigaciones aplicadas que evalúen las potencialidades de la implementación en diferentes condiciones de producción del país de las prácticas agrícolas bajo principios de AC, cuantificando los beneficios paulatinos que pueden producirse sobre la mejora de los suelos y el ahorro del agua para riego así como en el incremento de las producciones que pueden producirse bajo estos sistemas.

El objetivo de este trabajo es realizar una primera evaluación en condiciones experimentales del efecto del cultivo del maíz en asociación con canavalia, bajo principios de Agricultura de Conservación, sobre el régimen hídrico de un suelo Ferralítico Rojo compactado del municipio Alquizar, al sur de La Habana.

MÉTODOS

El estudio se realizó en áreas de la Estación Experimental del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, IAgric, situada en Pulido en el municipio de Alquizar, provincia Artemisa.

Se estableció un área experimental total de 2 ha la cual fue dividida en dos áreas, una denominada área bajo AC de 1,5 ha, para la siembra directa sin preparación del suelo del cultivo del maíz, variedad Tusón criollo, en asociación con canavalia, como principio de Agricultura de Conservación, y la otra denominada área bajo LC de 0,5 ha, donde se sembró maíz de la misma variedad bajo labranza convencional.

Hay que señalar que en el área bajo AC se hicieron trabajos de mejoramiento previos como subsolación, alisamiento y siembra e incorporación de canavalia como abono verde, lo cual forma parte de la fase preparatoria para la aplicación de la Agricultura de Conservación, como ha sido planteado por varios autores (Friedrich *et al.*, 2009; Hernández *et al.*, 2016)

El cultivo del maíz fue sembrado a una distancia entre hileras de 90 cm y entre plantas de 15-20 cm y la canavalia se sembró en el área AC a igual distancia entre hileras (90 cm) intercaladas con las de maíz. La profundidad radical efectiva considerada para el balance hídrico fue de 30 cm, según estudios antecedentes de este cultivo en esta zona (López *et al.*, 2009)

Ambas áreas fueron regadas mediante un sistema de riego por aspersión semi estacionario y se aplicaron intervalos fijos (5 días) con tiempos de aplicación y normas parciales fijas (2h

y 25 mm, respectivamente).

El suelo de la Estación está clasificado como Ferralítico Rojo compactado y ha sido caracterizado en estudios anteriores en cuanto a las propiedades físicas y parámetros que definen su funcionamiento hídrico (Cid *et al.*, 2011, López *et al.*, 2016).

Se realizó además una caracterización específica del área experimental en cuanto a propiedades físicas del suelo que permiten analizar en el tiempo la mejora que se produzca por las prácticas de la Agricultura de Conservación. Estas determinaciones involucraron las propiedades siguientes:

Densidad aparente. Se determinó por el método de los anillos con volumen conocido de 100 cm³ que fueron tomados a las profundidades de 10 cm, 20 cm y 30 cm en diez puntos espaciados en toda el área, calculada mediante la expresión: $D_a = PSS / V_c$, donde: D_a : densidad volumétrica o aparente, g cm⁻³; PSS : peso de suelo seco, g; V_c : Volumen del cilindro, cm³.

Análisis textural. Se realizó mediante el método de la pipeta por la variante de Kachinskii (1958) según el manual de procedimientos del laboratorio del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, determinando los porcentajes de arcilla, limo y arena para cada profundidad analizada.

Materia orgánica del suelo (MOS). Se realizó mediante el método Walkley-Black (1934) según las normas y procedimientos establecidos en el laboratorio de la Estación de Jovellanos del Instituto de Investigaciones de la Caña de Azúcar (INICA). Este método no oxida todo el carbono orgánico presente en la muestra, estimándose que éste sea del 76 %. Por lo que los resultados son una estimación semi-cuantitativa.

Curva característica o Curva tensión humedad, CTH. Se determinó en el laboratorio por el método de la Caja de Arena, según el manual de procedimientos del laboratorio del Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola. Para ello se tomaron muestras inalteradas con anillos que se saturaron y fueron sometidas a las tensiones de: pF1 (10 cbar), pF 1,5 (31,6 cbar), pF1,8 (63 cbar), pF2 (100 cbar). Se tomó además el valor de humedad correspondiente a 15 cbar de lo definido en trabajos anteriores para este suelo por ser éste un valor muy poco variable (Ruíz *et al.*, 2006; López *et al.*, 2016). Los valores de tensión y humedad se ajustaron al modelo de van Genuchten utilizando la herramienta computacional RECT (según lo define López *et al.*, 2016)

Humedad volumétrica (W_v, % Vol.). Para el seguimiento de la humedad por capas del perfil del suelo se utilizó la sonda electromagnética de profundidad PP2 con medidor HH2 (Delta-T Devices Ltd., 2013) la cual fue calibrada para el sitio específico del área experimental en un trabajo precedente (López *et al.*, 2016). Los resultados permitieron definir la ecuación de calibración específica siguiente:

$$W_v = 0,0157 * \text{Lectura PP2} + 31,912 \quad (\% \text{ Vol.})$$

donde: W_v- humedad volumétrica (% Vol.), Lectura PP2- medición con la sonda PP2 en mV

Balance hídrico del suelo

El balance hídrico del suelo se cuantificó para calcular la evapotranspiración de los sistemas de cultivo evaluados y ana-

lizar comparativamente el comportamiento de sus elementos. Se aplicó para ello el método de Balance de Masas (según lo presenta López *et al.*, 2016) asumiendo la simplificación de un gradiente unitario constante del potencial total del agua a la profundidad de 30 cm considerada para el balance.

Este balance hídrico no es más que la aplicación de la Ley de Conservación de la Masa. Los diferentes términos que entran dentro del balance a una profundidad radical pueden ser estimados a partir de la cuantificación de los flujos de agua verticales, no obstante en un sentido amplio, cualquier capa de suelo de interés forma parte de un ciclo general hidrológico en el que los flujos son multidireccionales.

Para la cuantificación de los balances hídricos por el método de Balance de Masas, se utilizó la ecuación general de balance según la presenta López *et al.* (2016):

$$\Delta A = (P + I) - (DI + DS + ET_c)$$

Donde: ΔA - Variación en la lámina almacenada hasta la profundidad considerada para el balance, P- Precipitación en mm, I- Agua aplicada por riego (mm), DS- Escurrimiento superficial, que fue despreciado por ser un área pequeña y relativamente plana, además los ingresos (P+I) no sobrepasaron en ningún momento la lámina correspondiente a la condición de saturación del suelo, DI- Drenaje interno, determinado según las expresiones siguientes (López *et al.*, 2016):

$$D = \int_{t_1}^{t_2} q_z dt \cong (\bar{q} * z) \Delta t \quad q = -K(\theta) \frac{dH}{dZ}$$

donde: q - flujo del agua a la profundidad considerada para el balance (mm.día⁻¹), $K(\theta)$ - conductividad hidráulica no saturada (mm.día⁻¹) en función de la humedad volumétrica θ (cm³.cm⁻³) y dH/dZ es el gradiente de potencial total del agua, H , asumido constante e igual a 1.

ET_c - Evapotranspiración del cultivo en el periodo de tiempo analizado, que se calcula por despeje como:

$$ET_c = (P + I) - (DI + DS + \Delta A)$$

Indicadores del rendimiento

Para la determinación de los indicadores de rendimiento se realizó un muestreo aleatorio, teniendo en cuenta el número de hileras y el largo del surco, la combinación de estos indicó el punto de muestreo. En cada una de las parcelas se tomaron un total de 15 muestras. Se utilizó un pie de rey digital para la medición del diámetro y largo de la mazorca y para la determinación del peso de la mazorca se utilizó una balanza electrónica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento de propiedades físicas del suelo evaluadas en el área experimental

La propiedad relacionada con el tamaño de las partículas del suelo (textura) representa sus características más estables y constituye una de sus propiedades físicas más importantes ya que permite predecir las bases del comportamiento físico del suelo, haciendo inferencias acerca del movimiento del agua en el perfil, la facilidad de manejo y la cantidad de nutrientes (Cid *et al.*, 2011).

En la Tabla 1, se muestra el comportamiento para cada profundidad evaluada de los porcentajes de las partículas según su tamaño o clase textural. Como se puede observar hay un predominio en todas las capas evaluadas de la fracción arcillosa (<0,002 mm) con más del 70 % y un valor promedio hasta los 30 cm de 79%, seguido de la fracción limo (entre 0,01-0,002 mm) que alcanza entre 15%-12%. Estas características texturales son inherentes a este tipo de suelo y explican su alta capacidad de almacenamiento del agua por el predominio de la arcilla, como ha sido definido por otros autores (Cid *et al.*, 2011).

Los valores obtenidos en estudios anteriores para el suelo del **área de estudio** (Cid *et al.*, 2012) difieren muy poco con respecto a los actuales, con ligeros incrementos en la fracción arcillosa y disminución de la fracción arenosa. Otros autores también han señalado la poca variación de las características texturales del suelo en el tiempo a diferencia de otras propiedades que están más relacionadas con la variación en la estructura del suelo, como la densidad aparente o volumétrica (Cid *et al.*, 2011; López *et al.*, 2016).

TABLA 1. Comportamiento de la textura hasta la profundidad de 30 cm del suelo Ferralítico Rojo compactado evaluada en el área experimental bajo AC

	Profundidad (cm)											
	0-10				11-20				21-30			
	Porcentaje por tamaño de las fracciones (mm)											
	grava	arena	limo	arcilla	grava	arena	limo	arcilla	grava	arena	limo	arcilla
	> 2	2 - 0,02	0,02-0,002	<0,002	> 2	2 - 0,02	0,02-0,002	<0,002	> 2	2 - 0,02	0,02-0,002	<0,002
Valor área AC	1,41	4,95	15,28	76,43	1,43	5,15	14,33	79,07	1,04	3,31	12,00	82,41

En la Tabla 2 se resumen los valores de la densidad volumétrica o aparente, D_a , para cada capa explorada en el perfil del suelo en el área de AC, los cuales se considerarán como valores del efecto de las labores iniciales o de preparación para la AC, a partir de los cuales se pueda comparar el efecto del establecimiento sucesivo de prácticas de agricultura de conservación en esta área.

TABLA 2. Valores de la densidad volumétrica o aparente, Da, hasta los 30 cm en el suelo Ferralítico Rojo compactado evaluados en el área experimental

Profundidad (cm)	Da inicial o anterior* (g.cm ⁻³)	Da actual en área AC (g.cm ⁻³)
0-10 cm	1,26	1,00
10-20 cm	1,36	1,05
20-30 cm	1,24	1,10
Promedio 0- 30 cm	1,29	1,05

* tomado de Rodríguez et al. (2016)

La comparación de estos valores de Da con los obtenidos en estudios anteriores en esta área (Rodríguez *et al.*, 2016) permite definir una reducción de un 19% como efecto de las mejoras realizadas en este primer ciclo de establecimiento de la parcela bajo principios de agricultura de conservación y los valores actuales de Da en el área de AC están en el rango de los observados por estos autores en el área de bosque (inalterada) de la Estación Experimental donde se desarrolla este estudio.

Este resultado reafirma lo planteado por varios autores (Freitas, 2000; Friedrich, 2016; Hernández *et al.*, 2016) de que las prácticas de AC contribuyen significativamente a la mejora y/o restablecimiento de las condiciones estructurales del suelo, lo que a su vez tendrá repercusión positiva en su capacidad de almacenamiento del agua para los cultivos.

En la Figura 1 se muestra el comportamiento del contenido de materia orgánica del suelo, MOS, en las tres profundidades evaluadas. Esta propiedad del suelo es medida por primera vez en este ciclo experimental por lo que sus valores constituyen la línea base para evaluar en los ciclos de cultivos posteriores, la mejora que sobre este parámetro puedan tener las prácticas de AC.

Como se puede observar los valores más altos se tienen hasta la profundidad de 20 cm (2,2 - 2,15%) lo que la define como la capa más fértil del suelo, sin embargo estos valores se consideran bajos ya que según Milne y Haynes (2004) y Pérez *et al.* (2013), estos suelos pueden alcanzar valores de MOS de hasta 6%, en dependencia del cultivo y su manejo y de modificaciones en las prácticas agrícolas como la labranza.

Este resultado coincide con lo obtenido anteriormente por Ruiz *et al.* (2006) y López *et al.* (2016) para esta misma zona donde encontraron diferencias significativas del comportamiento de las curvas tensión humedad a partir de los 30 cm de profundidad en el suelo, asociado a cambios estructurales que modifican significativamente la microporosidad de estas capas.

TABLA 3. Parámetros de ajuste al modelo de van Genuchten de las curvas características o tensión humedad, CTH, definidos como valores iniciales para el área experimental AC

Parámetros CTH	Valores	Error Estándar, SE	T- valor	Limites intervalo de confianza 95%	
				inferior	superior
0-10 cm					
W sat	0,48919	0,00925	52,89	0,4598	0,5186
	0,00217	0,00089	2,44	-0,0007	0,0050

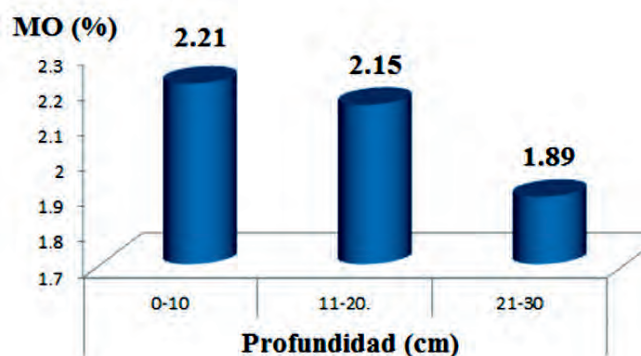


FIGURA 1. Contenido de materia orgánica del suelo, MOS, hasta los 30 cm del suelo Ferralítico Rojo compactado del área experimental.

La pérdida de MOS es un proceso que provoca degradación física en los suelos, la cual se refleja en problemas asociados con la estructura como, por ejemplo, disminución de la porosidad y mayor compactación. Varios autores consideran que la materia orgánica constituye un indicador importante de la calidad del suelo, dado a su sensibilidad sobre las prácticas agrícolas y han demostrado cambios de este parámetro cuando son utilizados diferentes sistemas de labranza señalando que el volteo del suelo ocasionado por el laboreo tradicional aumenta el flujo de CO₂ a la atmósfera, y como consecuencia disminuye el contenido de MOS (Larson y Pirce, 1994; Espinoza, 2010; López, 2010).

En la Tabla 3 se resumen los parámetros de ajuste al modelo de van Genuchten de las curvas características o tensión humedad, CTH, definidos como valores iniciales para el área experimental AC. En general los parámetros de ajuste tienen poca variación en las primeras dos capas con un ligero incremento, a la profundidad de 20-30 cm, de los valores de la humedad a saturación y el parámetro α , que varía con cambios en las características estructurales del suelo reflejadas en su densidad aparente (Tabla 1) según lo definido por otros autores (Ruiz *et al.*, 2006; López *et al.*, 2016).

En la Figura 2 se muestran las curvas CTH por capas y promedio hasta los 30 cm y su comparación con el fragmento de las mismas para el rango de tensiones de 0 a 1 kPa que corresponde al rango del agua fácilmente utilizable por el cultivo. Como puede apreciarse el comportamiento de la curva se diferencia para la capa de 20-30 cm, donde se tienen mayores contenidos de agua para un mismo valor de tensión en relación a las capas de 0-20 cm.

Parámetros CTH	Valores	Error Estándar, SE	T- valor	Limites intervalo de confianza 95%	
				inferior	superior
n	1,15807	0,02265	51,13	1,0860	1,2301
10-20 cm					
W sat	0,47453	0,00724	65,54	0,4515	0,4976
	0,00121	0,00046	2,63	-0,0003	0,0027
n	1,17928	0,02560	46,06	1,0978	1,2668
20-30 cm					
W sat	0,53991	0,00779	69,30	0,5151	0,5647
	0,00408	0,00107	3,80	-0,0007	0,0075
n	1,15661	0,01365	84,72	1,1132	1,2001
Promedio 0-30 cm					
W sat	0,50121	0,00809	62,6	0,4755	0,5270
	0,00249	0,00081	3,0	-0,0006	0,0051
n	1,16465	0,02063	60,6	1,0990	1,2323

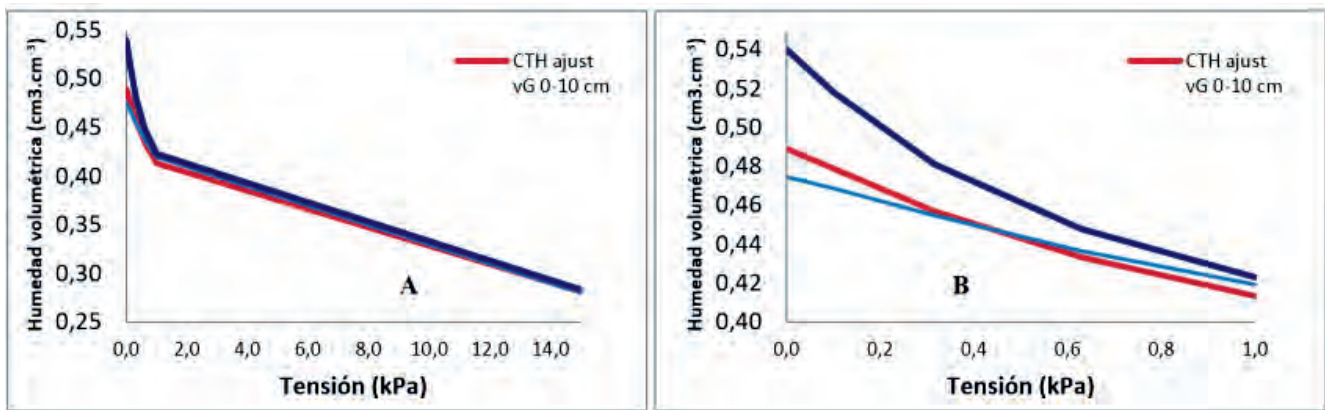


FIGURA 2. Curvas tensión humedad, CTH, ajustadas al modelo de van Genuchten para el área experimental AC: A- de 0 a 15 kPa, B- de 0 a 1 kPa.

Resultados del balance hídrico del suelo evaluado en las áreas experimentales

En la Figura 3 se muestra el comportamiento de la lámina de agua almacenada en el suelo hasta los 30 cm en cada área experimental. Se observa en ambos casos que la lámina de agua

se mantuvo en todo el ciclo del cultivo entre el límite superior (capacidad de campo) y el límite inferior establecido como criterio de riego (85% de la capacidad de campo), a pesar de que en el área de labranza convencional, LC, se desarrolló el cultivo del maíz y en el área bajo principios de agricultura de conservación, AC, se tuvieron en asociación dos cultivos, maíz-canavalia.

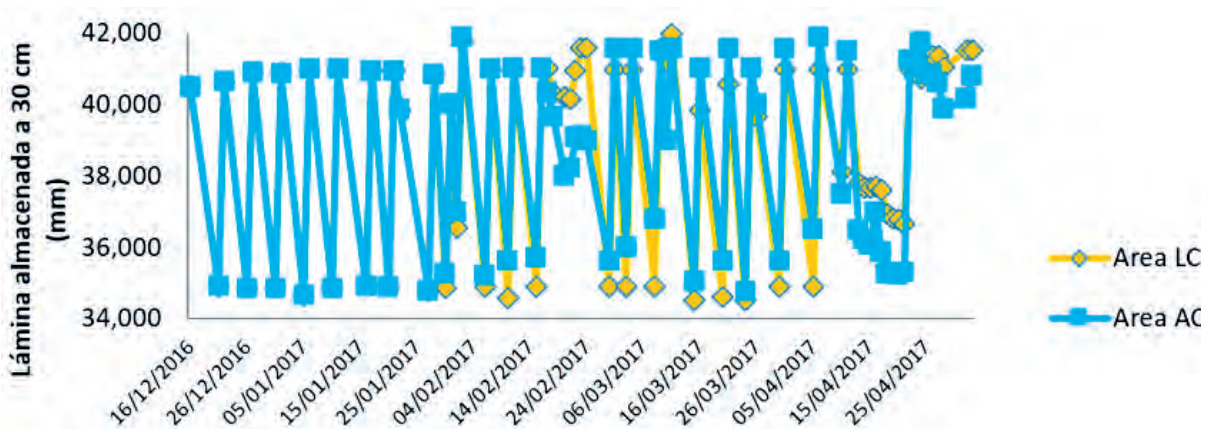


FIGURA 3. Comportamiento de la lámina de agua almacenada hasta los 30 cm en el suelo Ferralítico Rojo compactado en cada área experimental.

Como se puede apreciar durante el periodo inicial de crecimiento de los cultivos (30-45 días) los valores de humedad se comportan de manera similar en ambas áreas. No obstante, en el periodo de mayor crecimiento foliar del cultivo (entre 45 -100 días) los valores de humedad alcanzan en varias ocasiones valores inferiores en el área de LC con respecto a los valores que se registran en el área de AC. Esto puede apuntar al hecho de que los valores de evaporación desde la superficie del suelo se reducen considerablemente en la asociación maíz-canavalia cultivados bajo principios de AC y se favorece bajo esta práctica una mayor disponibilidad del agua para los cultivos.

En el periodo final de maduración-cosecha (de 100-138 días) se observan valores de la lámina inferiores en el área de AC, lo que puede estar asociado a una mayor demanda del asocio de cultivos maíz-canavalia en este periodo.

La evapotranspiración del cultivo, ETc, calculada a partir del balance hídrico del suelo hasta la profundidad de 30 cm para cada área experimental, se presenta en la Figura 4 (A y B). Como se aprecia la evapotranspiración acumulada es similar en ambos sistemas de cultivos evaluados y alcanza valores totales de 655 mm para el cultivo de maíz en el área LC, y 666 mm para el asocio maíz-canavalia en el área AC, con un aumento

de 11 mm para este último sistema.

El análisis del comportamiento de la evapotranspiración diaria a lo largo del ciclo de los cultivos en cada área refleja el efecto del comportamiento de la disponibilidad del agua analizado anteriormente. De manera similar a lo visto para la lámina de agua almacenada (Figura 3), se tienen valores de ETc diaria menores en varios momentos del periodo de mayor crecimiento del cultivo en el área de AC con respecto al área LC, lo que se puede asociar a que la evaporación desde la superficie del suelo se reduce al mínimo en esta asociación de cultivos en el periodo de su máximo crecimiento foliar. En el periodo final de los cultivos esta situación se invierte teniendo los mayores valores de ETc diarias en el área de AC, asociado a que se tienen dos cultivos y por tanto una mayor demanda de agua.

Otros autores también han resaltado la influencia de las prácticas bajo principios de agricultura de conservación sobre el incremento de la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua en el perfil del suelo así como sobre la disminución de la evaporación desde la superficie del suelo en favor de una mayor disponibilidad del agua almacenada para el consumo por las plantas (Friedrich, 2016; Casão *et al.*, 2012; Hernández *et al.*, 2016)

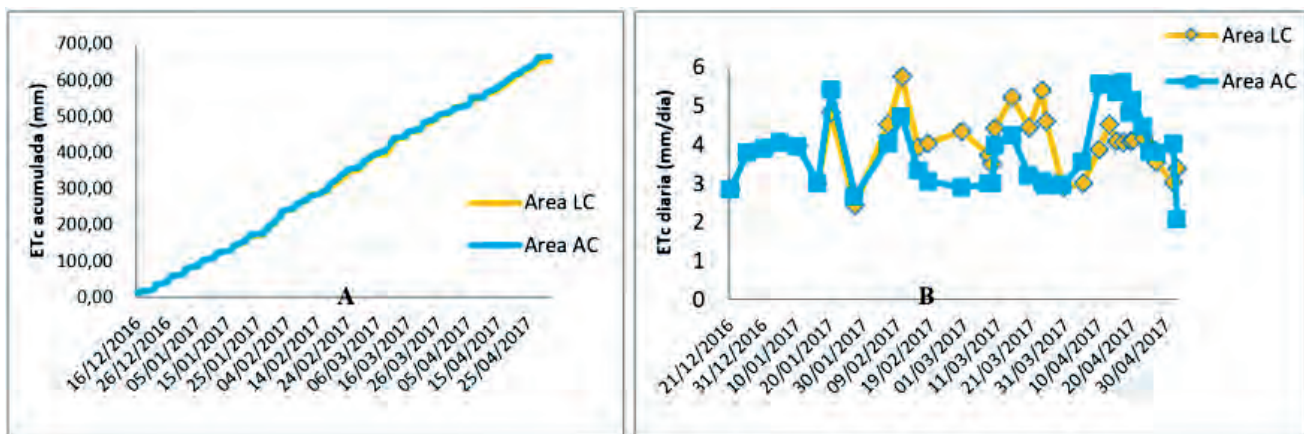


FIGURA 3. Comportamiento de la evapotranspiración del cultivo del maíz (área LC) y del asocio maíz-canavalia (área AC): A- evapotranspiración acumulada, B- evapotranspiración diaria.

En la Figura 4 se presenta una comparación de las normas de riego netas, Nn, estimadas considerando el comportamiento real de la humedad del suelo hasta los 30 cm en cada área experimental. Como se puede observar en el periodo de mayor crecimiento del cultivo, donde como ya se analizó se tuvieron valores de la lámina de agua almacenada hasta los 30 cm superiores en el área de AC, pudieron haberse aplicado normas netas de riego inferiores entre 1- 6 mm con respecto a las necesarias a aplicar en el área bajo LC.

La norma neta total de riego para el maíz en el área de LC resultó de 385 mm mientras que la estimada como necesaria para el asocio maíz-canavalia en el área de AC fue de 353 mm, lo que resulta en una disminución de un 8% de las necesidades de riego que puede esperarse como beneficio de la aplicación de los principios de agricultura de conservación evaluados en este ciclo experimental.

Resultados de otros trabajos apuntan al beneficio de las prácticas

agrícolas bajo principios de agricultura de conservación sobre el ahorro de agua para el riego de los cultivos a partir del incremento que se produce en la capacidad de almacenamiento del suelo y la reducción de las pérdidas por evaporación, como ya se analizó anteriormente. Reeves *et al.* (2016) en un trabajo que resume diversas experiencias en países en desarrollo que han adoptado las prácticas de agricultura de conservación para la producción de cereales, señalan que el riego suplementario del trigo, utilizando agua de lluvia almacenada, ha cuadruplicado la productividad del agua y la plantación en lechos elevados o canteros con riego por surcos permite ahorrar agua y genera mayores rendimientos del trigo y el maíz.

Thierfelder y Mupangwa (2014) señalan que en el África subsahariana, los sistemas de maíz en los que se practica la AC retienen más humedad del suelo durante los períodos sin precipitaciones entre estaciones y son más productivos que los sistemas basados en la labranza convencional que utiliza arados, gradas y azadas.

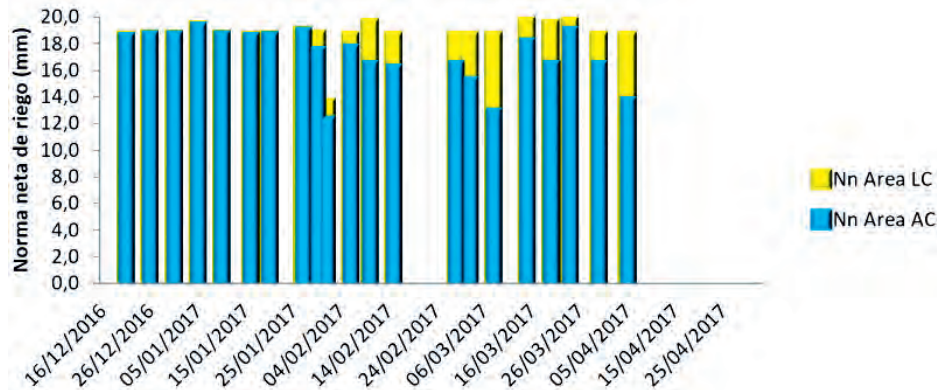


FIGURA 4. Estimación de las normas de riego netas, Nn, a aplicar considerando el comportamiento de la humedad del suelo hasta los 30 cm en cada área experimental.

Análisis comparativo de los rendimientos en las áreas experimentales

Al evaluar el rendimiento del cultivo de maíz correspondiente al primer ciclo de cultivo en el área bajo principios de agricultura de conservación, AC, en comparación con lo obtenido en el área bajo la labranza convencional, LT, podemos afirmar que los mayores rendimientos se registraron en el área bajo AC (maíz+canavalia), siendo los indicadores más notorios el número de granos por mazorca y el peso de la mazorca, con un aumento de los rendimientos totales de un 48 % a favor del área AC.

Este aumento puede indicar los beneficios de la asociación maíz-canavalia unido a la mejora de las condiciones del suelo que se produjo en la etapa previa de preparación del área para la implementación de la agricultura de conservación, que incluyó subsolación, incorporación de abono verde, alisamiento y siembra directa sin preparación del suelo.

Según Milton (1989) las leguminosas son fuente de nitrógeno, protegen al suelo de la erosión, enriquecen al suelo con materia orgánica, controlan malezas y rehabilitan tierras degradadas. Otros autores como Smyth *et al.* (1991), destacan que la mayor parte del nitrógeno aportado por la leguminosa, proviene de la biomasa aérea y para su mineralización no se requiere incorporarla. Por otro lado Quiroga (1996) indica que, después de tres ciclos de asociación maíz-canavalia resultó la mejor opción para suelos degradados con clima irregular, en combinación con la labranza cero y sin quema de residuos.

Reeves *et al.* (2016) resumen trabajos donde se identifica que los sistemas de maíz y leguminosas plantados simultáneamente o asociados permiten que éstas últimas fijen el nitrógeno en el suelo y dejen residuos que puedan retenerse en la superficie del suelo como cubierta vegetal, lo que contribuye además a que el cultivo siguiente de frijol o maíz aumente su rendimiento hasta en un 25%. Estos autores señalan que en distintos países en desarrollo, el guandú, el caupí, el cacahuete, la soja y la canavalia son muy habituales en los campos de maíz de los agricultores, resaltando que la elevada productividad de los sistemas de cultivo de maíz y leguminosas hace que sean especialmente adecuados para los pequeños productores.

Scopel *et al.* (2004) y Kassam *et al.* (2014) refieren que los

buenos resultados del cultivo sin labranza o con labranza reducida en la producción de maíz se reflejan en la amplia adopción de sistemas de cultivo con plantación directa y cubierta vegetal en América Latina. En los últimos decenios han aumentado las zonas en las que se ha implantado este sistema de forma permanente, llegando a alcanzar más del 50 % de la superficie total de cultivos en Argentina, el Brasil y Paraguay.

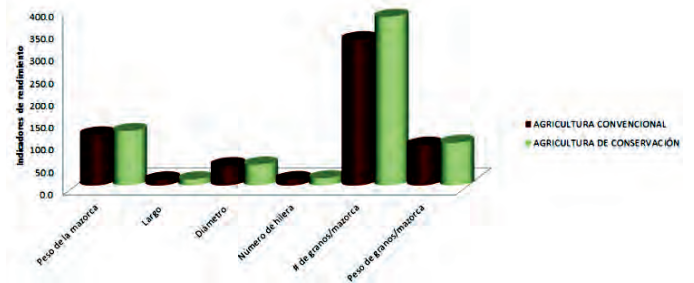


FIGURA 5. Indicadores de rendimiento evaluados en el cultivo del maíz en las áreas bajo principios de Agricultura de Conservación, AC y bajo Labranza Convencional, LC.

CONCLUSIONES

- Los resultados de la evaluación de las propiedades físicas del suelo en este primer ciclo de cultivo de maíz+canavalia bajo principios de agricultura de conservación, permitió identificar una reducción del 19% de la densidad aparente o volumétrica hasta la profundidad de 30 cm. Otras propiedades como la textura no tienen modificaciones relevantes y los valores de materia orgánica resultaron bajos (<3%) y serán la línea base para futuras evaluaciones.
- La evaluación de la dinámica de humedad y el balance hídrico del suelo apuntó a que se reduce la evaporación desde la superficie del suelo en la asociación maíz-canavalia cultivada bajo principios de AC, favoreciendo una mayor disponibilidad del agua y una reducción de la evapotranspiración diaria en los momentos de mayor desarrollo de los cultivos y por tanto una disminución potencial de un 8% de las necesidades de riego.
- Los resultados del análisis de los rendimientos del maíz en su asociación con canavalia bajo principios de AC, comparados con el maíz cultivado bajo labranza convencional, identificó

un aumento de los rendimientos totales de un 48% a favor de las prácticas de agricultura de conservación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte de los resultados del proyecto internacional "Bases Ambientales para la Sostenibilidad Alimentaria Local", BASAL, que se ejecuta en Cuba desde el año

2013, con el financiamiento de la Unión Europea y la Agencia Suiza COSUDE, con el PNUD como Agencia Implementadora y con la participación de diversas instituciones nacionales del CITMA y el MINAG. Muchas gracias por el valioso apoyo a la investigación. También a los investigadores y especialistas siguientes: M.Sc. Mayra Wong Barreiro, Dr.C. Greco Cid Lazo y M.Sc. Aleida Leiva Leiva, del IAGric, por su participación en la investigación.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CASÃO, J.R.; A.G. ARAÚJO y R. FUENTES: *Plantiodireto no Sul do Brasil: Fatores que facilitaram a evolução do sistema e o desenvolvimento da mecanização conservacionista*, 77 pp. © FAO e IAPAR, 2012, ISBN: 978-85-88184-40-4.
- CID, G.; T. LÓPEZ; F. GONZÁLEZ; J. HERRERA y M.E. RUÍZ: "Propiedades físicas de algunos suelos de Cuba y su uso en modelos de simulación", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(2):42-46, 2011, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- ESPINOZA, Y.: "Efecto de la labranza sobre la materia orgánica y tamaño de agregados en un suelo cultivado con maíz en condiciones tropicales", *Bioagro. Revista del Decanato de Agronomía*, 22(3):177-184, 2010, ISSN: 1316-3361.
- FREITAS, V. H.: "Manejo del suelo en pequeñas fincas. Estrategias y métodos de introducción, tecnologías y equipos", 74pp., *Boletín de Suelos de la FAO* 77, Roma, 2000, ISSN 1020-0657.
- FRIEDRICH, T., KASSAM, A.H. y SHAXSON, F.: *Conservation Agriculture*. In: Agriculture for Developing Countries. Science and Technology Options Assessment (STOA) Project. European Parliament. European Technology Assessment Group, Karlsruhe, Germany, 2009.
- FRIEDRICH, T.: "Manejo sostenible de suelo con Agricultura de Conservación. Significado para el cultivo de arroz", *Revista de Ingeniería Agrícola*, Vol. 7(1): 3-7, 2016, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- GONZÁLEZ, M. E.: "Siembra directa y labranza convencional: Efecto sobre la densidad aparente y porosidad del suelo. (parte I*)". *Biología en Agronomía*, 3(2): 7-21, 2013, ISSN: 1853-5216.
- KACHINSKII, H.: *Composición mecánica y de microagregados del suelo. Métodos de estudio*, 188pp., Ed. A.C. URSS, Moscú, 1958.
- KASSAM, A., FRIEDRICH, T., DERPSCH, R. & KIENZLE, J.: Worldwide adoption of Conservation Agriculture. Paper presented at the 6th World Congress on Conservation Agriculture, 22–25 June 2014, Winnipeg, Canada, 2014.
- LARSON W.E. & F.J. PIRCE: *The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management*, pp. 37- 51, In: Doran, J.W. *et al.*, (Eds. Defining soil quality for a sustainable environment, Madison: ASA/SSSA, 1994.
- LING-LING, L.; GAO-BAO, H.; REN-ZHI, Z.; BELLOTTI, B.; LI, G. y YIN CHAN, K.: "Benefits of Conservation Agriculture on Soil and Water Conservation and Its Progress in China" *Agricultural Sciences in China*, 10(6): 850-859. 2011, ISSN: 1671-2927.
- LÓPEZ, R.: *Laboreo de conservación. Efectos a corto y largo plazo sobre la calidad del suelo y el desarrollo de los cultivos*. Tesis presentada para optar por el grado de Doctora en Ciencias. Universidad de Sevilla, España, 2010.
- LÓPEZ, T.; HERRERA, J.; GÓNZALEZ, F.; CID, G. y CHATERLÁN, Y.: Eficiencia de un modelo de simulación de cultivo para la predicción del rendimiento del maíz en la región del sur de La Habana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(3): 1-6. 2009, ISSN: 1010-2760, E-ISSN: 2071-0054.
- LOPEZ, T.; RUÍZ, M.E.; GONZÁLEZ, F.; CID, G. y HERRERA, J.: "Actualización de herramientas disponibles para la precisión de balances hídricos del suelo en trabajos experimentales", *Revista Ingeniería Agrícola*, 6(3): 18-25, 2016, ISSN: 2306-1545, E-ISSN: 2227-8761.
- MEJÍAS, J.; J. A. MARTÍNEZ y I. MACÍAS: "Impacto ambiental de la introducción de un prototipo agrícola para la labranza de conservación". *Revista Desarrollo Local Sostenible*, 6(16):14, 2013 [en línea] 2013, Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/delos/16/prototipo-agricola-labranza-conservacion.pdf> [Consulta: julio 22 2017].
- MILNE R.M. & HAYNES R.J.: "Comparative effects of annual and permanent dairy pastures on soil physical properties in the Tsitsikamma region of South Africa" *Soil Use and Management*. 20: 81–88. 2004, ISSN: 0266-0032.
- MILTON, F. B.: "Velvetbeans: an alternative to improve small farmer's agriculture", *ILEIA Newsletter* 5(2): 8-9. 1989, ISSN:1569-8424.
- MONTGOMERY, D.: *Dirt: the erosion of civilizations*, 287pp., University California Press, Berkeley and Los Angeles, 2007. ISBN-10: 0520248708; ISBN-13: 978-0520248700.
- PÉREZ, F. H., SANTANA, I y RODRÍGUEZ, H.: Manejo sostenible de tierras en la producción de caña de azúcar, 290pp., Ed. AMA. Primera edición, La Habana, 2013, ISBN: 978-959-300-051-2.
- QUIROGA, M., R.: *Uso de leguminosas en la producción de maíz: una experiencia regional en Chiapas, México*, pp. 35-57, In: J. Pérez Moreno y R. Ferrera Cerrato (Eds). *Nuevos horizontes en agricultura. Agroecología y desarrollo sostenible*, Colegio de Postgraduados en Cien-

cias Agrícolas, Montecillo, México [en línea] 2016, Disponible en: https://ecitydoc.com/download/ricardo-rene-quiroya-madrival_pdf [Consulta: julio 22 2017].

REEVES, T.G.; T. GRAEME y R. GORDON.: *Ahorrar para crecer en la práctica: maíz-arroz-trigo*, 124pp., Guía para la Producción Sostenible de Cereales. © FAO, Roma, 2016, ISBN 978-92-5-308519-4.

RODRÍGUEZ, A.; J. A. MARTÍNEZ; J. ARCIA; A. HERNÁNDEZ: “Influencia de sistemas de labranza sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelo cultivado de frijol” *Revista de Ingeniería Agrícola*, 6(4): 44-49, 2016, ISSN: 2306-1545, E-ISSN:2227-8761.

RUIZ, M; MEDINA, H. y HERRERA, J.: “Métodos empleados en Cuba para determinar las propiedades hidráulicas de suelos”. *Terra Latinoamericana*, 24(3): 311-318 (julio-septiembre), 2006, ISSN: 0187-5779.

SCOPEL, E., TRIOMPHE, B., DOS SANTOS RIBEIRO, MDEF., SÉGUY, L., DENARDIN, J.E. & KOCHHANN, R.A.: *Direct seeding mulch-based cropping systems (DMC) in Latin America*, In R.A. Fischer, ed. *New directions for a diverse planet. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress, Brisbane, Australia [en línea] 2004, Disponible en: www.cropscience.org.au/icsc2004/pdf/1406_scopele.pdf [Consulta: julio 22 2017].*

SMYTH, J. T.; CRAVO, S.M.; MELGAR, J.R.: “Nitrogen supplied to corn by legumes in a Central Amazon Oxisol”, *Tropical Agriculture*. (Trinidad) 68: 366-372. 1991, ISSN: 0041-3216.

THIERFELDER, C. y MUPANGWA, W.: *Identifying new sustainable intensification pathways for smallholder farmers in South- ern Africa. Paper presented at the World Congress of Conservation Agriculture (WCCA6), June 22–25, 2014, Winnipeg, Canada [en línea] 2014, Disponible en: www.fao.org/ag/save-and-grow/MRW/en/2/index.html [Consulta: julio 22 2017].*

WALKLEY, A. & BLACK, I.A.: “An examination of the method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method”, *Soil Science*, 37: 29–37, 1934.ISSN: 0038-075X.

Recibido: 13/12/2017.

Aprobado: 04/05/2018.

Amaury Rodríguez González, Investigador, Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola, Boyeros, La Habana. Cuba. Correo electrónico: dptomecan8@iagric.cu

Teresa López Seijas, Correo electrónico: directoradjunta@iagric.cu

José A. Martínez Cañizares, Correo electrónico: dptomecan1@iagric.cu

Julián Herrera, Correo electrónico: direccioninvest1@iagric.cu

Oneyda Hernández Lara, Correo electrónico: dptomecan8@iagric.cu

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

