



TRACTORES Y MÁQUINAS AGRÍCOLAS TRACTORS AND AGRICULTURAL MACHINES

Fundamentos del diseño de implementos para la preparación localizada de superficies acanteradas en caña de azúcar

Fundamentals to the design of stripe tillage implements in heavy clay soil under mount for the sugar cane plantation

Yoel Betancourt Rodríguez¹ y Ciro Iglesias Coronel²

RESUMEN. Se fundamentan algunos parámetros de diseño de los implementos para la preparación localizada de suelo en superficies acanteradas. La modelación matemática de estos determinó que con el aumento de la profundidad de trabajo respecto al camellón de 0,01...0,15 m; y del ángulo de inclinación de la falla en el plano transversal de 30°...50° se disminuye el ancho de trabajo de la saeta del escarificador de 0,87...0,71 m. La salida entre dos brazos escarificadores aumenta con el incremento de los ángulos de enfrentamiento de la reja y de fricción suelo-metal hasta 0,85 m, además el aumento de estos órganos de dos a cuatro reduce la salida entre ellos a 0,42 m. Se recomienda para la labranza primaria localizada en superficies acanteradas, con escarificadores escalonados, que las dimensiones del ancho de trabajo de la saeta del brazo escarificador y la salida entre estos sean de 0,87 y 0,85 m respectivamente.

Palabras clave: Saetas, ancho de trabajo, distancia entre órganos, área laborada.

ABSTRACT. Some design parameters of the *stripe tillage implements in mound suffice are foundation*. The mathematical modelling of these determined that increase of work depth in regard to the *inter row space* of 0,01...0,15 m and the fail incline angle in the transversal plane of 30°...50° diminishes the width of work of the arrow from 0,87m to 0,71 m. The distance between two scarifier arms increase with the increment of the facing angles of the tool and of soil-metal friction up to 0,85 m, *also the augment of these organs from two to four, reduces the distance among them to 0,3 m*. it is recommended for the stripe primary operation in mound surfaces, with scarifier in tandem, that the width of work of the arrow's scarifier and the spaced out among *these* will be 0,87m and 0,85 m respectively.

Keywords: arrows, width of work, work member distances, workable area.

INTRODUCCIÓN

Para la preparación localizada de suelo se han diseñado implementos, como el escarificador C 101, que utilizan órganos de corte vertical y horizontal dispuestos en escalón, y uno detrás del otro (Gómez *et al.*, 1997; Santana *et al.*, 1999).

Las pruebas preliminares de esta tecnología con el escarificador C 101 en los suelos arcillosos pesados sobre cantero, demostraron la necesidad de modificar el diseño de sus órganos de trabajo para mejorar la calidad de labor. Debido a que se dejaba parte del cantero sin roturar, permaneciendo cepas

vivas después de la labranza primaria.

Los beneficios de este sistema consisten en reducir el número de labores, el tiempo de preparación, el consumo de combustibles y los gastos de trabajo cuando se comparan con el sistema tradicional. Si cada operación dentro del proceso tecnológico no se realiza con el máximo de rigor técnico y agronómico, es posible que no se cumplan los propósitos que se persiguen.

El estudio de las principales propiedades del suelo y la incidencia de enfermedades entre la hilera y los espacios entre estas, recomendaron que la labranza localizada de suelos

Recibido 29/11/09, aprobado 31/03/11, trabajo 17/11, investigación

¹ Ing., Inv., Estación Territorial de Investigaciones de la Caña de Azúcar Villa Clara-Cienfuegos (ETICA Villa Clara-Cienfuegos), Autopista Nacional km 246, Apartado 20, Ranchuelo, Villa Clara, Cuba. Fax: 451 520, E-✉: bejmenendez@vc.minaz.cu y secretaria@epica.vc.minaz.cu

² Dr.C., Prof. e Inv. Titular, Universidad Agraria de La Habana-CEMA, Mayabeque, CP: 32700.

arcillosos pesados, con sistema de plantación en cantero, se realice sobre la hilera de la vieja plantación (Betancourt *et al.*, 2009; Betancourt *et al.*, 2010a y Betancourt *et al.*, 2010b).

Tomando en consideración lo antes expuesto, el objetivo de este trabajo es definir algunos parámetros de diseño de escarificadores con saetas escalonados, para la labranza localizada en superficies acanteradas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Determinación del ancho de trabajo de las saetas

Cálculo del ancho constructivo de trabajo de la saeta trasera

Si se considera un implemento con órganos de trabajo de corte horizontal trabajando en superficie acanterada, como el que se presenta en la Figura 1, donde H_c -Altura del cantero; A_c - Profundidad de trabajo respecto a los espacios entre hilera; B_s -Ancho constructivo de trabajo de la saeta del escarificador; A_t - Profundidad total de trabajo del implemento; B_c -Ancho de la base del cantero; R - Distancia desde el extremo de la saeta del escarificador hasta la base del cantero; θ - Ángulo de inclinación de la falla en el plano transversal a la dirección de movimiento. El ancho de la saeta del descepador debe ser tal que permita roturar toda la base del cantero con el mínimo ancho constructivo de la misma, entonces:

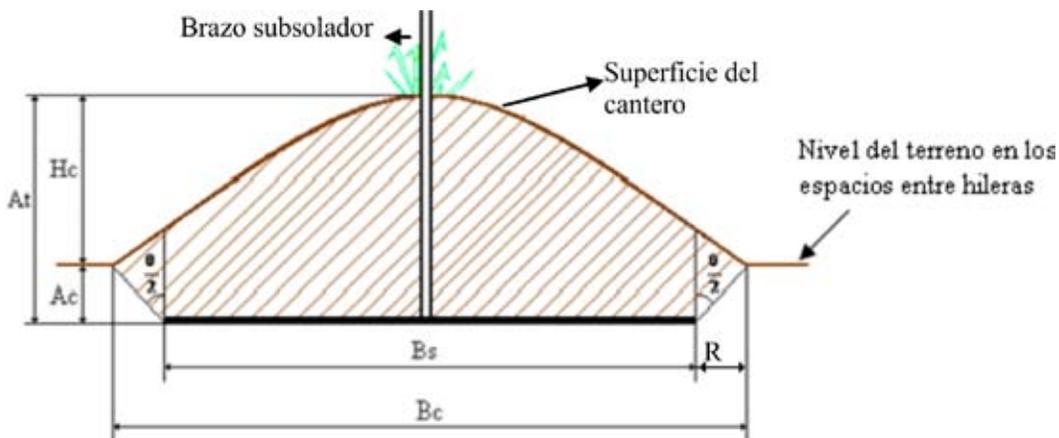


FIGURA 1. Ancho de trabajo de la saeta del escarificador.

$$B_c = B_s + 2R; \text{ luego } B_s = B_c - 2R, \text{ m} \quad (1) \quad (2)$$

De la Figura 1 se deduce que:

$$\tan\left(90^\circ - \frac{\theta}{2}\right) = \frac{A_c}{R} \text{ y donde } R = \frac{A_c}{\tan\left(90^\circ - \frac{\theta}{2}\right)}, \text{ m} \quad (3) \quad (4)$$

Sustituyendo R en (2) tenemos:

$$B_s = B_c - \left[2 \frac{A_c}{\tan\left(90^\circ - \frac{\theta}{2}\right)} \right] \quad \text{ó} \quad B_s = B_c - \left[2 \frac{(A_t - H_c)}{\tan\left(90^\circ - \frac{\theta}{2}\right)} \right], \text{ m} \quad (5) \quad (6)$$

Donde: θ -varía de $30^\circ \dots 50^\circ$ (Leyva, 2009); B_c - esta determinado por la regulación del ancho de trabajo de los implementos en el cultivo mecanizado y el ancho de vía de los equipos de la cosecha mecanizada y A_c - en función de la altura del cantero; es decir, mientras mayor sea H_c menor será la profundidad de trabajo respecto a los espacios entre hileras (A_c), ya que habrá mayor volumen de suelo para la formación del cantero y el desarrollo radicular de la nueva plantación.

Cálculo del ancho constructivo de trabajo de la saeta del descepador

De la expresión 5 se deduce que para $A_c=0$, entonces $B_s=B_c$. Por tanto si se emplean equipos que trabajan en escalón, como es el caso del C 101 ó el C 104, el ancho de las saetas a profundidad $H_n \leq H_c$ es $B_n \approx B_{cn}$ (Figura 2), donde: B_n - ancho de las saetas n por encima del descepador, m; H_n -altura de cantero desde el tope hasta la profundidad n , m; B_{cn} -ancho del cantero para una altura H_n , m.

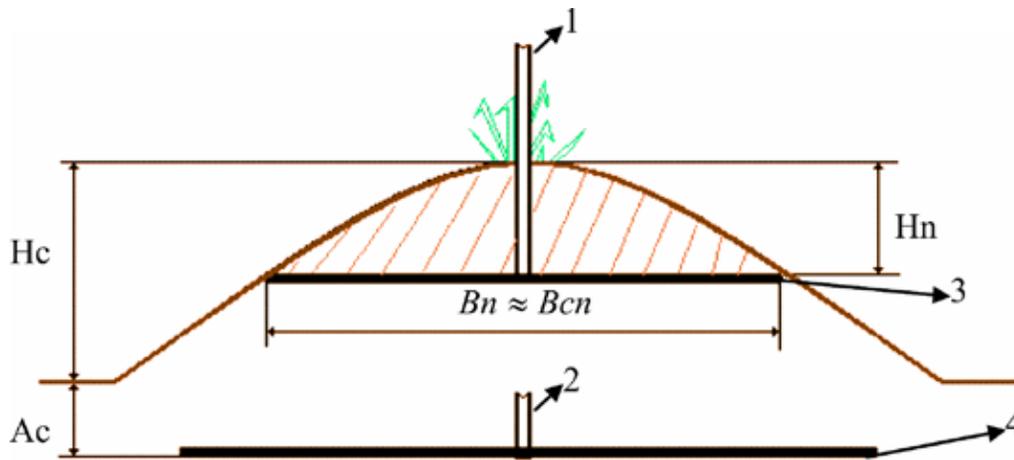


FIGURA 2. Ancho de trabajo de la saeta por encima del escarificador. 1- Brazo subsolador descepador, 2- brazo subsolador escarificador, 3-saeta del brazo descepador, 4- saeta del brazo escarificador.

Determinación de la distancia entre los brazos subsoladores y la profundidad de trabajo entre estos

Si se parte de la condición que la distancia horizontal de la punta del descepador, respecto a la del escarificador (D_e) no debe ser menor que la distancia de la horizontal entre la punta del escarificador y el punto de la salida de la línea de falla en el plano longitudinal (D_f), de lo contrario la energía necesaria para desplazar el implemento sería muy elevada puesto que la profundidad de trabajo del escarificador será A_i . Por tanto,

$$D_e \geq D_f \tag{7}$$

De la Figura 3 se deriva que:

$$D_f = \tan(\alpha + \varphi)(A_t - A_d) \tag{8}$$

Partiendo de la condición de igualdad de D_e y D_f , y que

$$A_t = H_c + A_c \tag{9}$$

Entonces:

$$D_e = \tan(\alpha + \varphi)[(H_c + A_c) - A_d] \tag{10}$$

Si $A_d > [(H_c + A_c) - A_d]$ entonces, la capa de suelo con mayor volumen de raíces por delante del descepador es elevada, disminuyendo la fragmentación del suelo y la pronta eliminación de las cepas viejas. De lo contrario, $A_d < [(H_c + A_c) - A_d]$, el espesor de suelo donde existe más humedad y menor intercambio con la atmósfera es mayor, reduciendo la fragmentación del suelo y aumentando el tiempo entre labores.

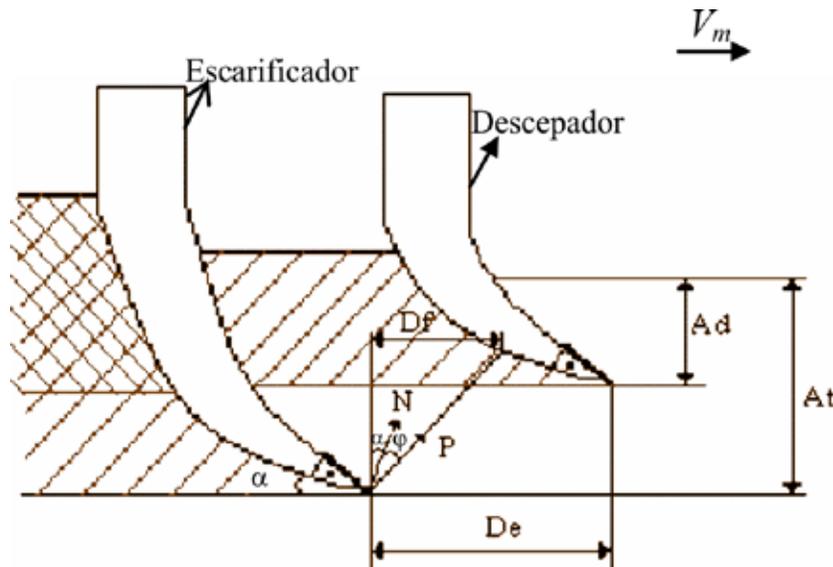


FIGURA 3. Determinación de la distancia horizontal o salida del escarificador respecto al descepador D_e .

$$A_d \approx \frac{H_c + A_c}{2} \tag{11}$$

De lo anterior se desprende que para implementos de dos órganos en escalón:
Salida del descepador respecto al escarificador en función de la profundidad de trabajo
 Sustituyendo (11) en (10) tenemos:

$$De = \left(\frac{Hc + Ac}{2}\right) \tan(\alpha + \varphi) \tag{12}$$

Donde, α y φ son los ángulos de enfrentamiento de la reja y de fricción suelo-metal respectivamente.

El primero (α) varía de 20°...35° y el segundo (φ) de 20°...45°; según (Luna, 1979; Ortiz- Cañavate, 2003; Silveira, 1982)

Salida de los órganos para n cuerpos en escalón
 $\frac{At}{n}$

Si denotamos a n como la profundidad de trabajo de n cuerpos en escalón y se concibe el mismo análisis realizado para dos cuerpos, entonces:

$$De \approx 5.67 \frac{At}{n}, m \tag{13}$$

Determinación del área laborada

Aún cuando el área laborada por el implemento (A) se corta en dos o más secciones por la interdisposición de sus órganos de trabajo, el perfil trabajado por el implemento va a estar determinada por la profundidad (A_t) y ancho de trabajo (B_c) de la saeta del escarificador, además como el apero va a trabajar sobre áreas acanteradas, la altura del cantero y las dimensiones de su perfil juegan un papel determinante en el parámetro que se evalúa, Figura 4.

El área laborada por el implemento, según la Figura 4, se determina por:

$$A = \int_0^{B_c} f(x)dx + \left[AcBc - \frac{Ac^2}{\tan\left(90^\circ - \frac{\theta}{2}\right)} \right] \tag{14}$$

Donde, $f(x)$ -función que describe el promedio de las observaciones realizadas de las mediciones del perfil del cantero, considerando como eje de las ordenadas el nivel del terreno en los espacios entre hileras.

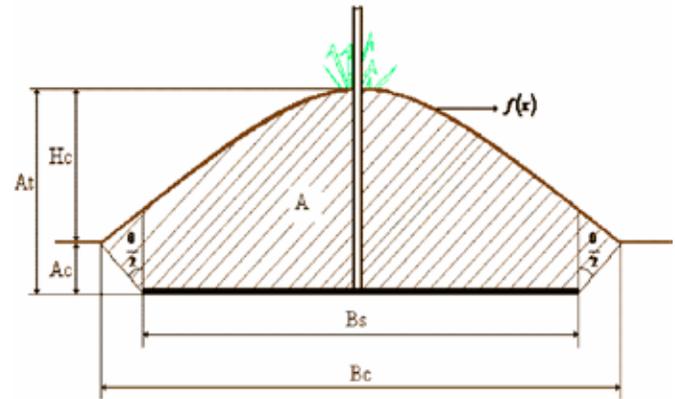


FIGURA 4. Área laborada por el implemento.

Determinación experimental del ancho de las setas descepadora y escarificadora

La determinación del ancho de trabajo de la saeta del brazo escarificador, la salida de dos brazos escarifica en función de los ángulos α y φ , y la salida entre varios órganos de ese tipo se realizó con el empleo del software *Mathcad 2000 Professional*. Las expresiones utilizadas fueron (5), (12) y (13) respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores utilizados en la modelación de los parámetros de diseño del C 101 para la labranza primaria en superficies acanteradas se presenta en la Tabla 1.

TABLA 1. Valores para la modelación de las características de diseño del escarificador C 101 M

Ancho de la saeta			Salida entre dos escarificadores en función de los ángulos de enfrentamiento de la reja (α) y de fricción suelo-metal (φ)				Salida entre varios escarificadores	
Bc, m	Ac, m	θ , grados	Ac, m	Hc,m	α ,grados	φ , grados	n	At, m
0,90	0,05...0,20	30°...50°	0,10	0,20	20...35	20...45	2; 3 y 4	0,30

Con el aumento de la profundidad de trabajo respecto al espacio entre hileras (A_c) y del ángulo de inclinación de la falla en el plano transversal (θ) disminuye el ancho de trabajo de la saeta del brazo escarificador (B_s) de 0,87...0,71 m (Figura 5).

El valor de B_s debe ser aquel que permita roturar todo el cantero en cualquier condición y con el mínimo de materiales para la construcción de la misma, recomendándose un ancho entre 0,87 m.

La salida entre dos brazos escarificadores aumenta con el incremento de los ángulos de enfrentamiento de la reja y de fricción suelo-metal, Figura 6. El valor de D_c debe ser aquel que garantice el buen funcionamiento del implemento con un margen de seguridad, para lo cual se deben tomar los valores mayores de α y φ . Por tanto, se recomienda una salida de 0,85 m.

El aumento del número de brazos escarificadores de dos a cuatro reduce la salida entre estos de 0,85...0,42 m para una misma profundidad de trabajo de 0,30 m, Figura 7.

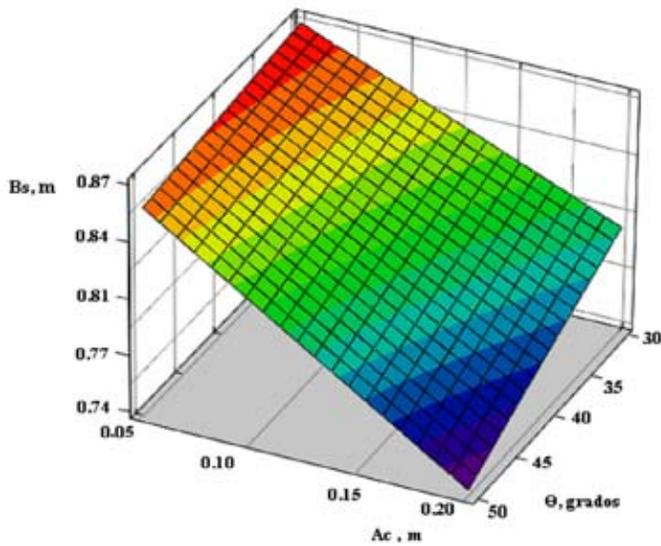


FIGURA 5. Variación del ancho de trabajo de la saeta del escarificador (Bs) en función de θ y A_c .

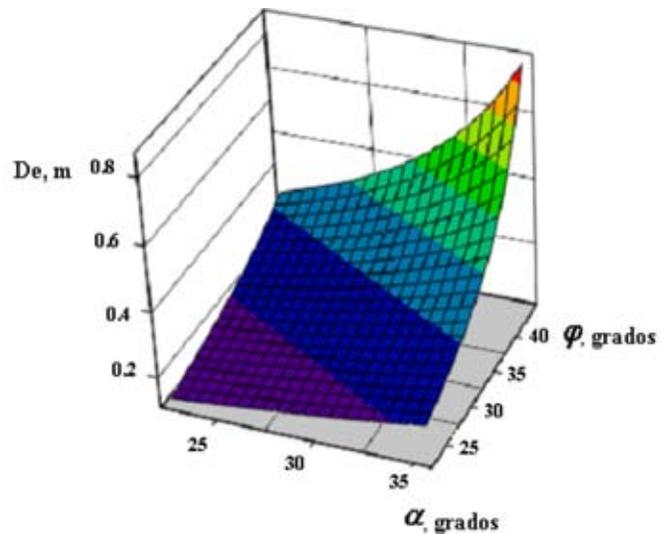


FIGURA 6. Salida entre dos brazos escarificadores (De) en función de los ángulos de enfrentamiento de la reja (α) y de fricción suelo-metal (φ).

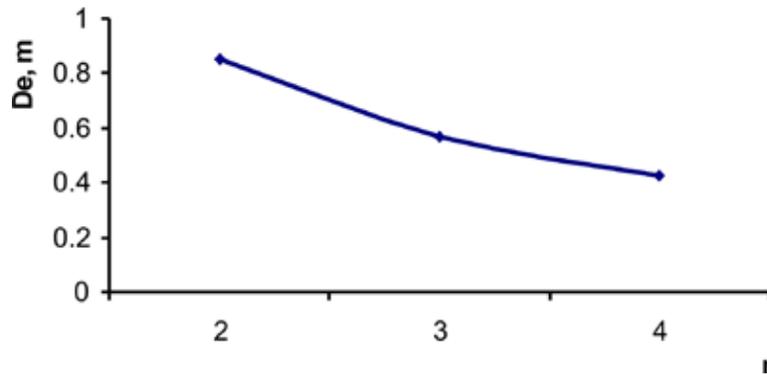


FIGURA 7. Salida entre escarificadores en función del número de cuerpos.

CONCLUSIONES

- El ancho de trabajo de la saeta del brazo descepador está determinado por el ancho del cantero.
- El aumento de la profundidad de trabajo respecto al camellón de 0,01...0,15 m y del ángulo de inclinación de la falla de 30°...50° en el plano transversal, disminuyen el ancho de trabajo de la saeta del escarificador de 0,87...0,71 m.
- La salida entre dos brazos escarificadores aumenta con el incremento de los ángulos de enfrentamiento de la reja y de

fricción suelo-metal hasta 0,85 m. El aumento de estos órganos, de dos a cuatro, reduce la salida entre ellos a 0,42 m.

- Se recomienda para la labranza primaria localizada en superficies acanteradas, con escarificadores escalonados, que las dimensiones del ancho de trabajo de la saeta del brazo escarificador, y la salida entre estos sean de 0,87 y 0,85 m respectivamente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BETANCOURT Y.; I. RODRÍGUEZ; E. PINEDA: "Las propiedades químicas del suelo para definir la zona de aplicación del laboreo localizado en los suelos arcillosos pesados", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(3): 46-48, 2009.
- BETANCOURT, Y.; L. HERRERA; O. ADAY; A. E. GARCÍA: "Las propiedades biológicas del suelo e influencia de enfermedades para definir la zona de aplicación del laboreo localizado en los suelos arcillosos pesados", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 2010a.
- BETANCOURT, Y.; P. CAIRO, A. GUTIÉRREZ; I. GARCÍA: "Las propiedades físicas del suelo para definir la zona de aplicación del laboreo localizado en los suelos arcillosos pesados del norte de villa clara", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 2010b.
- GÓMEZ, A.; V. VELARDE Y R. CÓRDOBA: "Nuevas Soluciones para la preparación de suelo en Cuba", *Revista CUBA & CAÑA*, 3: 31-36, 1997.
- GUTIÉRREZ, A.; I. GARCÍA; L. VIDAL. Estudio comparativo de la siembra en cantero y en el surco. Caña planta. En: **Memoria de la 43 conferencia de la ATAC**. pp. 682-695, Ciudad de La Habana, Cuba, 1982. REUCO, D. 1982.

- LEYVA, S. O.N.: *Fundamentación de una tecnología para laboreo mínimo de suelos vertisoles basada en la aplicación de una máquina compleja en caña de azúcar*, 145pp., Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas Agropecuarias, Universidad Agraria de La Habana, La Habana, Cuba, 2009.
- ORTIZ-CAÑAVATE, J. *Las máquinas agrícolas y su aplicación*. 526pp., Ediciones Mundi- Prensa. Madrid, 2003.
- SANTANA, M.; J. B. FUENTES; L. BENÍTEZ; J. COCA; R. CÓRDOBA; S. HERNÁNDEZ; J. ARCIA; J. HERNÁNDEZ; I. HERNÁNDEZ; D. SOCARRÁS: *Principios Básicos para la aplicación de tecnologías de preparación de suelos en el marco de una agricultura conservacionista y sostenible*, 77pp., INICA- MINAZ- IIMA- CNCA. La Habana, Cuba, 1999.
- SILVEIRA REMUS, J. A. *Teoría de cálculo de máquinas agrícolas*, 420pp., Editorial Pueblo y Educación. La Habana, 1982.

Programa de Investigación en Ingeniería Agrícola

Se realizan investigaciones en áreas de la Ingeniería Agrícola y Agroindustrial que plantean soluciones a problemas sectoriales o regionales de impacto nacional.

Líneas de investigación:

- Geohidrología
- Mantenimiento y reparación de la maquinaria agrícola
- Sistemas y tecnologías para la mecanización
- Ingeniería y tecnología de alimentos

Se cuenta actualmente con máquinas para la cosecha del maíz, frijol, transplantadoras de piña, reventadora de amaranto, cosechadora de jamaica, cosechadora de cacahuate, sembradoras de precisión de diferentes tipos y capacidades.

Coordinar con:

Ing. Marco A. Rojas Martínez

Director del

Dpto. de Ing. Mecánica Agrícola

Tel.: (595) 2 1500 ext. 5719

Dpto. de Irrigación

Tel.: (595) 2 1500 ext. 5690

**“Marcando el rumbo
de la Ingeniería
Agrícola en México,
en el Tercer Milenio”**

**Universidad
Autónoma
Chapingo**

