

Estudio de corte de películas plásticas sobre suelos acolchados

Study of court of plastic films on mulched grounds

César Gutiérrez Vaca¹; Ryszard Serwatowski²; José M. Cabrera Sixto²; Noé Saldaña Robles² y José A. Juárez-Guaní²

RESUMEN. En el estudio se determina la energía requerida para el corte de film plástico que se utiliza en suelos acolchados, el perfil adecuado de cuchilla, y profundidad óptima de corte, parámetros que servirán para el diseño del elemento cortante de una trasplantadora. Se ensayaron dos tipos de plásticos con grosor de 30 y 23 μm , respectivamente, cuatro diferentes bordes de cuchilla; del tipo liso y dentado, dos diferentes suelos; arcilloso y arenoso, y dos velocidades de cuchilla; 1 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ y 10 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$. Se colocó suelo dentro de una bandeja y sobre él la probeta de plástico. La cuchilla se sujeta en el brazo de un equipo de análisis de textura, Microsystems TaxT2, y al desplazarse corta el plástico. Se genera así información de fuerza y deformación que se envía al programa xtrad dimension del texturómetro, obteniéndose dichos parámetros. De esa información se integra la energía unitaria ($\text{J}\cdot\text{mm}^{-1}$) que se precisa exclusivamente para el corte de plástico. Las cuchillas con bordes dentados muestran mejor desempeño, y son el factor fundamental a considerar al momento del diseño, ya que las variables de plástico, suelo y velocidad muestran poca influencia en el fenómeno.

Palabras clave: trasplantadora, Diseño Mecánico, raíz desnuda, *Fragaria vesca*.

ABSTRACT. In this study requirement energy is determined to cut plastic film that is used in mulched grounds, the suitable profile of blade, and optimal depth to cut film, that will be used for design the cut element from a transplanter. Two types of plastics were analyzed; 30 μm and 23 μm thickness, respectively, four different edges from blade; smooth type and gear, two different grounds; argillaceous and sandy, and two speeds of blade; 1 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ and 10 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$. For tests, the ground was put in a tray and on him was placed the plastic test piece. The cut blade was placed on the arm of an equipment of texture analysis, Microsystems TaxT2, and when moving it cuts the plastic. It is generated thus information of force and deformation that is sent to software xtrad dimension texturemeter, obtaining the parameters before mentioned. Of that information is integrate the unitary energy ($\text{J}\cdot\text{mm}^{-1}$) that needs exclusively for the plastic cut. The blades with gear edges show better performance, and are fundamental factor to consider at design time, since the variables of plastic, ground and speed show little influence in the phenomenon.

Keywords: transplanter, Mechanical Design, bare root, *Fragaria vesca*.

INTRODUCCIÓN

Cada vez son más los cultivos que se están adaptando a los sistemas de producción forzada, donde es necesario el uso de plásticos para acolchar el suelo. Esa práctica obliga a que al momento del trasplante se requiera cortar el plástico dejando una porción de suelo a la intemperie donde será colocada la planta a desarrollar. Algunas trasplantadoras son capaces de colocar el plástico, cintilla de riego y trasplantar a la vez, sin embargo en estos casos es recomendable disponer del suelo a baja humedad (cerca al punto de marchitamiento permanente, PMP) que permita la operación de los mecanismos de las trasplantadora sin provocar atascos en los mismos, además de que las plantas a ser colocadas sean desarrolladas en cepellón,

lo que les permite tener agua disponible para superar el estrés hídrico al que se verán sometidas, entre otras razones. Otro grupo de trasplantadoras está compuesto por aquellas que sólo se encargan de cortar la sección de plástico y colocar la planta, sin embargo el tipo de planta que es posible de manipular es la de cepellón. Para el caso de plantas a raíz desnuda la disponibilidad de trasplantadoras se reduce a dos tipos comerciales: de discos flexibles o de pinzas prensoras, que no pueden operar en suelos acolchados debido a que su principio de operación está basado en la reja abre-surco. Algunos frutos y hortalizas no son susceptibles de ser desarrollados en cepellones para posteriormente ser trasplantados a los campos de producción, de forma más específica, la fresa (*Fragaria vesca*) es un cultivo que durante muchos años la biotecnología ha tratado de de-

Recibido 12/12/09, aprobado 22/09/10, trabajo 51/10, investigación.

¹ Dr.C., Profesor, Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda El Copal km 9, carretera Irapuato Silao, C.P. 36820, Irapuato, Guanajuato, México, E-✉: cesarg@dulcinea.ugto.mx

² Dr.C. , Profesor, Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad de Guanajuato, México.

sarrollarle un proceso seguro para cultivar plantas de fresa en cepellón, para posterior trasplantar al campo de producción, sin embargo al día de hoy no se tiene un método confiable por lo que se trasplanta a raíz desnuda en su gran mayoría (López, 2003). Algunas casas comerciales aseguran que sus trasplantadoras pueden trasplantar plantas a raíz desnuda sobre suelos acolchados, sin embargo es conveniente precisar que no todos los tipos de cultivos demandan los mismos requerimientos al momento del trasplante. La fresa es un tipo de planta que exige verticalidad al ser colocada, correcto posicionamiento de la corona respecto del suelo y además que el sistema radicular no resulte doblado al realizar el trasplante pues el nivel de producción se verá reducido (Medina, 2003). Lo anterior ha llevado al grupo de diseño de maquinaria y equipo agroindustrial del Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad de Guanajuato, a desarrollar un prototipo de trasplantadora que sea capaz de trasplantar plantas a raíz desnuda, como el caso de la fresa, sobre suelos acolchados. Una de las necesidades en dicho proyecto es la de desarrollar un elemento que perfora el plástico colocado sobre el suelo y que opere de forma paralela a los elementos que se encargarán del trasplante, todos ellos conformarán una unidad de trasplante que constituirá parte central de la trasplantadora en fase de diseño. Para el diseño de mecanismo de corte se estudiaron las trasplantadoras existentes en el mercado además de las patentes de trasplantadoras que no llegaron a versión comercial (Gutiérrez, 2008). En ellas el mecanismo de corte más utilizado es el de valvas en forma de vaso que corta el plástico y en su interior transporta la planta que será colocada en el terreno de asiento. Tal mecanismo tiene la desventaja de que por desgarrar abre el plástico y forma un hoyo donde se deponen la planta, si bien ese método es válido para cepellones, no lo es para plantas a raíz desnuda donde es necesario que la raíz de la planta sea abrigada por el suelo asegurando su desarrollo. El elemento de corte, de la unidad de trasplante que se está desarrollando, se propone seccionar al plástico en forma de U lo cual que permita, de forma paralela, a otro elemento esconder debajo de la cama de plástico la parte seccionada, dejando a la intemperie el suelo donde será colocada la planta y con la mínima alteración en la estructura (Gutiérrez *et al.*, 2007a). Para diseñar dicho cortador se precisa: determinar el borde conveniente de la cuchilla de corte ensayándose cuatro diferentes, determinar la energía unitaria mínima necesaria para cortar el plástico a lo largo de la sección, y además, la profundidad necesaria que la cuchilla se insertará al interior del suelo para realizar un corte efectivo del plástico. También es necesario estudiar el fenómeno al involucrar otras variables como lo menciona Gutiérrez (2008), por lo que se ensayaron dos diferentes calibres de plástico, dos diferentes tipos de suelo y dos diferentes velocidades de corte de la cuchilla.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar los ensayos se utilizó un equipo de análisis de textura "Micro Systems TAXT2" (Figura 1) que contiene una célula de carga con capacidad de registrar fuerzas de 1 N hasta 300 N, velocidades del brazo que sostiene la mordaza

de 1 mm·s⁻¹ hasta 10 mm·s⁻¹ y desplazamiento máximo de 150 mm. La información generada en el texturómetro es digitalizada y presentada en forma gráfica (por el software *xtrad dimension* que acompaña al texturómetro), con la posibilidad de seleccionar valores de fuerza, distancia y tiempo. Se seleccionaron tres de las cuchillas utilizadas por Gutiérrez *et al.* (2006), donde se comparaba la opción entre corte por movimiento circular o por cuchilla en movimiento vertical, determinándose que tres de las cinco cuchillas con movimiento vertical estudiadas mostraron mejor desempeño en la calidad de corte y menor gasto de energía, inclusive que el corte rotatorio (Gutiérrez *et al.* 2007b). Además, para los ensayos del presente trabajo, se agregó una cuchilla de borde liso, con el fin de comparar el desempeño entre bordes lisos y dentados, resultando las cuchillas que se muestran en el Cuadro 1, con dimensiones de 70 mm de ancho por 170 mm de alto y 1,5 mm de espesor que se consideran necesarias para asegurar la resistencia y rigidez estructural de la herramienta cortante en diversas condiciones de suelo. Los bordes creados sobre la cuchilla no fueron afilados sino que cortan a lo ancho del grosor de la lámina, se prevé añadir un ligero templado para prevenir el desgaste.



FIGURA 1. Texturómetro *Micro systems TAXT2*.

CUADRO 1. Cuchillas para los ensayos de corte

Cuchilla	Perfil	Simbología	Figura 2
1	Borde cortante recto	C1	2 a)
2	Borde cortante en forma "V"	C2	2 b)
3	Borde cortante con dientes en forma de triángulo equilátero de 1 cm de lado.	C3	2 c)
4	Borde cortante con dientes en forma de triángulo con ángulo recto base de 0.5cm y altura de 1cm	C4	2 d)



FIGURA 2. Formas del borde cortante de las cuchillas.

Para los plásticos se eligieron los más comerciales en la región; 30 y 23 μm de grosor (calibres 110 y 90, respectivamente), denominados P1 y P2, confeccionándose probetas de 60 mm de ancho por 200 mm (Figura 3). Se seleccionaron dos velocidades de corte: $1\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$, indicada para pruebas de tensión de hojas delgadas de plástico, por la norma NMX-E-082-SCFI-2002; la otra de $10\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$, denominándose V1 y V2 respectivamente, que ayudarán a conocer los efectos de utilizar baja velocidad al momento de cortar el plástico. Por último se seleccionó un suelo con características de franco arcilloso (S1), típico en la zona fresera del Estado de Guanajuato en México, y se incluyó otro suelo con características de franco arenoso (S2), buscando el representar las zonas arenosas donde se desarrolla el cultivo de la fresa, como es el caso de Huelva en España, algunas zonas de Florida y California en los Estados Unidos de Norte América y Baja California en México. Se considera que al tomar estos dos suelos con propiedades mecánicas distintas se estará abarcando un rango amplio de tipos de suelos, aunque por su naturaleza mecánica ser concluyentes por extrapolación resulta aventurado.



FIGURA 3. Probeta de plástico.

Las combinaciones de las diferentes cuchillas, plásticos, suelos y velocidades suman 32, para cada una de ellas se realizaron cinco repeticiones resultando en 160 ensayos. El procedimiento consistió en colocar el suelo hasta el borde superior de una bandeja, a continuación se coloca la probeta de plástico y se sujeta con clips metálicos redondeados. Se coloca la bandeja sobre la base del texturómetro y en la mordaza móvil del mismo se soporta la cuchilla (Figura 4). Se preselecciona la velocidad de ensayo, $1\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ o $10\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$, y el desplazamiento del brazo que soporta la mordaza de la cuchilla (100 mm según ensayos preliminares). Finalmente se realiza la prueba obteniéndose, al concluir la misma, los valores de fuerza y desplazamiento directamente de la gráfica. De ella se pueden determinar la energía invertida en el corte de plástico y suelo, por integración de la curva fuerza-deformación, además del desplazamiento de la cuchilla hasta el punto en que ocurre el corte del plástico. En la Figura 5 se muestra una gráfica típica de los ensayos realizados, el primer pico de la curva muestra la fuerza máxima resistida por el plástico. A continuación desciende hasta el valle, que representa la última fuerza expuesta por la probeta. Seguidamente asciende debido a la resistencia a la penetración del suelo, casi lineal a lo largo del ensayo.



FIGURA 4. Probeta de suelo y plástico a ser ensayados.

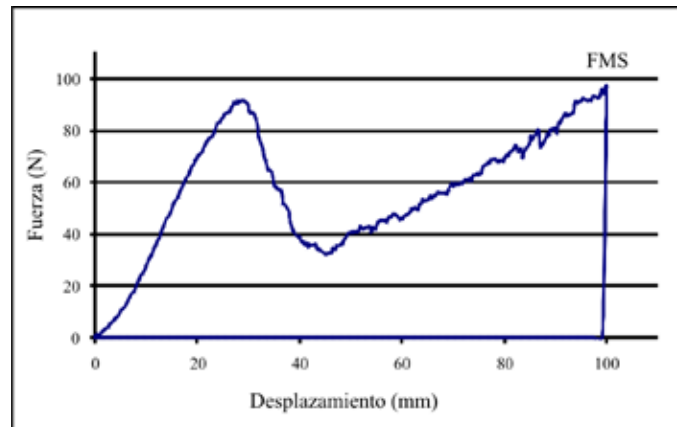


FIGURA 5. Ensayo de corte de plástico sobre suelo.

En la Figura 6 la energía total (E_T) invertida en el ensayo es la suma de las áreas: A, B y C, que se obtiene por integración con el *software* del analizador. Para estimar la energía destinada al corte de plástico (E_{CP}) representada por el área A se propuso un modelo simplificado, sustituyendo las áreas A, B y C por los triángulos respectivos (Figura 6). De aquí:

$$E_{CP} = (E_T) - (0.05)(\overline{FMS}) \rightarrow (1)$$

donde:

FMS-Fuerza máxima alcanzada en el suelo, N;

E_{CP} -Energía de corte de plástico, J;

E_T -Energía total del ensayo, J.

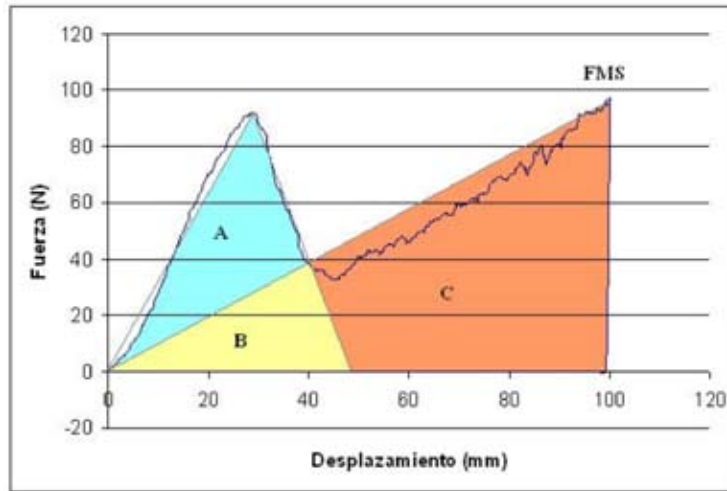


FIGURA 6. División de energía invertida en el corte de plástico y suelo.

Las áreas B y C ($B + C = 0.05 \text{ FMS}$) representan energía invertida en el corte de suelo al momento del ensayo, que es necesario restar de la energía total invertida, con el objeto de hacer un correcto análisis. Comparando los resultados se podrá elegir la forma conveniente de la cuchilla que corresponderá a aquella que muestre menor requerimiento de E_{CP} a la vez que precise de menor profundidad de corte, parámetros decisivos para el diseño del dispositivo de corte de la trasplantadora.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 2 muestra los resultados promediados por variable de los 160 ensayos realizados, se emplea el término energía de corte unitaria (por unidad de longitud de la línea de corte) considerando mayor utilidad de ese parámetro. Las cuchillas dentadas (C3 y C4) precisan de menor energía que las de borde liso (C1 y C2). Para el desplazamiento hasta el punto de ruptura no hay diferenciación pues C1 y C4 muestran

similares valores. El suelo franco arenoso requiere de menor energía y profundidad de corte que el franco arcilloso, en este último se observó que el corte no es tan uniforme que en el primero pues los terrones, que comúnmente se forman en este tipo de suelo, provocan picos en los requerimientos de fuerza. El plástico de 30 μm muestra menor requerimiento de energía y desplazamiento al punto de ruptura que el de 23 μm a pesar de su mayor grosor, esto tiene que ver con los porcentajes de elongación que presenta en mayor grado P2. Altos valores de elongación provocan que al realizar el corte en el suelo se requieran mayores desplazamientos de ruptura, que resultará en mayores gastos de energía. Mayor velocidad de corte resulta en mayor energía invertida en el proceso de corte y mayor desplazamiento al punto de ruptura, este hecho provoca que al momento del diseño del elemento de corte se tenga la disyuntiva de elegir entre: velocidades bajas que resultan en mayores tiempos de movimiento o velocidades altas que implican mayores requerimientos de energía y desplazamiento de la cuchilla.

CUADRO 2. Resultados promedio para las diferentes variables de corte de plástico ensayadas

Cuchillas	Energía unitaria corte de plástico ($\text{J}\cdot\text{mm}^{-1}$)	Punto de ruptura (mm)	Suelos	Energía unitaria corte de plástico ($\text{J}\cdot\text{mm}^{-1}$)	Punto de ruptura (mm)	Plásticos	Energía unitaria corte de plástico ($\text{J}\cdot\text{mm}^{-1}$)	Punto de ruptura (mm)	Velocidades	Energía unitaria corte de plástico ($\text{J}\cdot\text{mm}^{-1}$)	Punto de ruptura (mm)
C1	0.037	40.8	S1	0.025	45.8	P1	0.024	37.7	V1	0.024	41.1
C2	0.037	49.0	S2	0.024	36.8	P2	0.025	45.0	V2	0.026	41.5
C3	0.013	34.7									
C4	0.012	40.8									

Para confirmar las inferencias hechas con los datos del Cuadro 2, se sometieron los resultados de los ensayos a un análisis de varianza con el paquete estadístico Statgraphics 4.0 obteniendo los valores que se muestran en el Cuadro 3. Al 95% de certidumbre se demuestra que existe diferencias significativas entre las cuchillas ensayadas, caso similar para los suelos, sin embargo para los plásticos y velocidades no se encuentra diferencia significativa al evaluar la energía invertida en el corte de plástico. Al interactuar las cuchillas o suelos con los plásticos si se encuentran diferencias al mismo nivel de significancia (Figuras 7 y 8)). En el Cuadro 4 se muestra un análisis de rango múltiple donde la cuchilla 4 registra el menor promedio de requerimiento de energía, formando un grupo homogéneo con la cuchilla 2.

CUADRO 3. Análisis de varianza de energía de las diferentes variables ensayadas

Fuente	Suma de cuadrados	DF	Media de cuadrados	Relación de F	Valor de P
Efectos principales:					
A: Cuchilla	97,8367	3	32,6122	23,82	0,0000
B: Suelo	368,753	1	368,753	269,39	0,0000
C: Plástico	0,564063	1	0,564063	0,41	0,5220
D: Velocidad	2,09306	1	2,09306	1,53	0,2184
E: Repetición	30,9275	4	7,73188	5,65	0,0003
Interacciones:					
AB	6,45619	3	2,15206	1,57	0,1990
AC	16,6747	3	5,55823	4,06	0,0084
AD	1,66269	3	0,554229	0,40	0,7497
BC	13,7476	1	13,7476	10,04	0,0019
BD	3,51056	1	3,51056	2,56	0,1116
CD	0,390063	1	0,390063	0,28	0,5943
Residual	187,53	137	1,36883		
Total corregido	730,146	159			

Todas las relaciones de F están basadas sobre el error residual de media de cuadrados

CUADRO 4. Análisis de rango múltiple por cuchillas en términos de energía

Cuchilla	Método LSD 95%		
	Cuenta	Media LS	Grupo Homogéneo
C4	40	4.7875	X
C2	40	5.22	XX
C3	40	5.3675	X
C1	40	6.8625	X

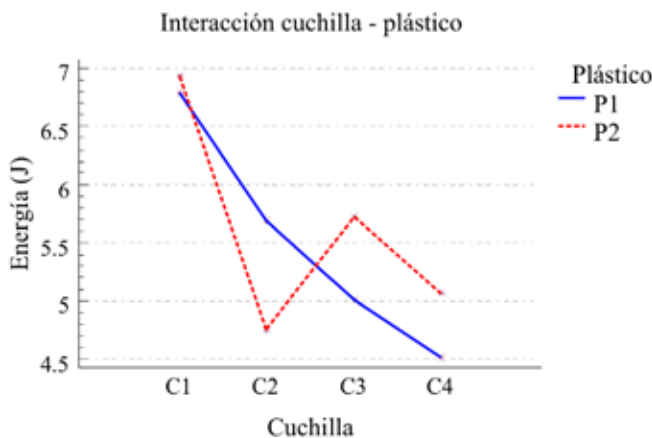


FIGURA 7. Demanda de energía por las interacciones cuchilla-plástico.

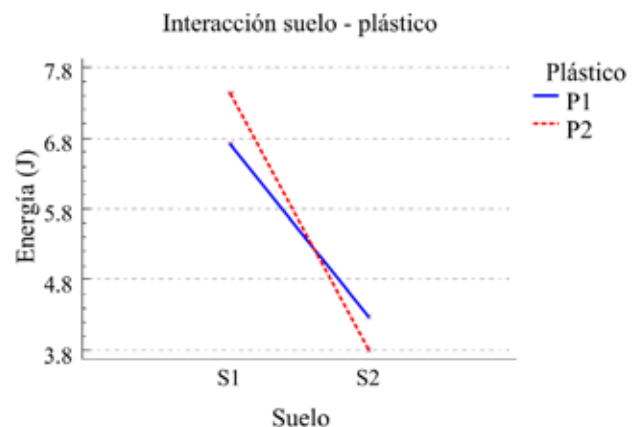


FIGURA 8. Demanda de energía por las interacciones suelo-plástico.

Similares resultados se obtienen al evaluar el punto de ruptura del plástico, solo que ahora C3 muestra mejor comportamiento que C4 (Cuadro 5 y Figura 9).

CUADRO 5. Análisis de rango múltiple por cuchillas en términos de punto de ruptura

Cuchilla	Método LSD 95%		
	Cuenta	Media LS	Grupo Homogéneo
C3	40	34.75	X
C1	40	40.8	X
C4	40	40.81	X
C2	40	43.785	X

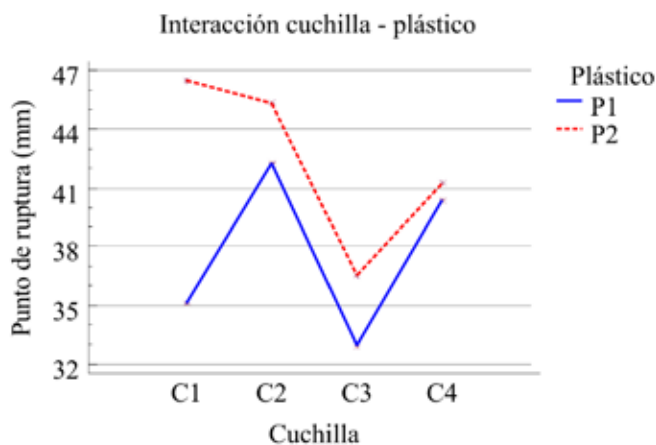


FIGURA 9. Desplazamiento al punto de ruptura por las interacciones cuchilla-plástico.

CONCLUSIONES

- La forma del borde cortante de la cuchilla resultó ser el factor fundamental del proceso de corte de plástico sobre suelo, considerando las variables y ensayos analizados. Los bordes dentados muestran una superioridad notable en comparación

con los lisos, permitiendo realizar el corte con menor energía y profundidad empleada. La forma del diente no es un factor substancial, de modo que la elección dependerá de los criterios particulares de optimización del diseño del dispositivo de corte, y procesos de fabricación empleados. La energía unitaria mínima resultó ser de 0,13 J·cm⁻¹ de plástico cortado, en los ensayos de laboratorio realizados. Finalmente, la profundidad de penetración del elemento de corte se recomienda de 50 mm como mínimo, tomando en consideración el valor más alto de desplazamiento alcanzado.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Guanajuato (CONCYTEG), Consejo Nacional de la Fresa A. C (CONAFRE), y a la empresa Montellano Estructuras y Construcciones S. A. de C. V., por las aportaciones económicas y en especie que han colaborado en; el desarrollo del proyecto “Soluciones Mecánicas al Trasplante Manual en el Cultivo de la Fresa” (GTO-2005-C02-75) del cual emerge el presente estudio, el desarrollo tecnológico de la trasplantadora en cuestión, y la formación de recurso humano en posgrado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GUTIÉRREZ, C.: *Estudio y diseño del módulo de trasplante de una trasplantadora para suelos acolchados en el cultivo de la fresa. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Mecanización y Tecnología Agraria)* Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2008

GUTIÉRREZ, C.; R. SERWATOWSKI; J. M. CABRERA; N. SALDAÑA y A. ZAVALA: Construcción y análisis de un módulo de trasplante para plantas a raíz desnuda sobre suelos acolchados, En: **Memorias del XVII Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola**, „Oportunidades y Retos de la Ingeniería Agrícola Ante la Globalización y el Cambio Climático”, pp. 236-244, Universidad Autónoma Chapingo, Bermejillo, Durango, México, 2007a.

GUTIÉRREZ, C.; R. SERWATOWSKI; J. M. CABRERA; A. ZAVALA; J. A. JUÁREZ y N. SALDAÑA: Desarrollo de un dispositivo de corte de plástico para una trasplantadora a raíz desnuda, En: **Congreso Internacional de las Ciencias Agropecuarias AGROCIENCIAS 2007**, La Habana, Cuba, 2007b.

GUTIÉRREZ, C.; R. SERWATOWSKI y C. GRACIA: Estudio de detección o perforación de acolchado para el trasplante a raíz desnuda”, En: **XVI Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola**, Universidad de Guanajuato. Guanajuato, México, 2006.

LÓPEZ, J.M.: Multiplicación industrial in vitro, En: **Memorias del II Curso Internacional del cultivo de la fresa**. Huelva, España, 2003.

MEDINA, J. J.: Preparación del suelo, desinfección, técnicas, modalidades, densidades y fechas de plantación, En: **Memorias del II Curso Internacional del cultivo de la fresa**, Huelva, España, 2003.

NMX-E-082-SCFI-2002: *Industria del plástico-resistencia a la tensión de materiales plásticos-método de ensayo*, Norma mexicana, Vig. 2002.