

## Desarrollo de una tecnología para trasplante mecanizado de la fresa (*fragaria vesca*)

César Gutiérrez Vaca\*, Ryszard Serwatowski H.\*, Noé Saldaña Robles\*, José Manuel Cabrera Sixto\*, Agustín Zavala Segoviano\*\*, Alberto Saldaña Robles\*, Armando Juárez Guaní\*.

### RESUMEN

El trabajo presente resume un proyecto de investigación y desarrollo tecnológico realizado con el objeto de ofrecer una solución al problema de altos costos de la mano de obra, por falta de mecanización de trasplante en cultivos como la fresa, donde esta labor se realiza utilizando plántulas con raíz desnuda en condiciones de suelo acolchado con película plástica. Con base en un estudio de métodos y equipos utilizados en el mundo para labores similares, se propone una nueva tecnología y se diseña una máquina para satisfacer los requerimientos específicos de esta operación. Se comentan resultados de los estudios realizados en campo y en laboratorio, durante el desarrollo del proyecto, para comprobar la factibilidad técnica de la idea propuesta. Se describe el prototipo de la trasplantadora diseñada, que se encuentra actualmente en la etapa final de su construcción.

### ABSTRACT

This paper summarizes a research and technological development project carried out in order to reduce the cost of hand-transplanting strawberry and other similar crops, which use bare root plants and mulched soil for planting. Based on a study of methods and equipment used in the world for similar task, a new technology is proposed and a machine is designed to satisfy the specific requirements of this operation. Results are given of studies to verify the technical feasibility of the proposed idea made in the field and laboratory during the development of this project. A description is given of the prototype transplanting machine, which is currently in the final stage of construction.

Recibido: 12 de Mayo de 2009  
Aceptado: 26 de Junio de 2009

### INTRODUCCIÓN

La fresa es uno de los frutos llamados “falso fruto” según la agronomía, pues en realidad es una baya, que goza de popularidad en el consumidor de todas las regiones del mundo. Su tamaño, forma, color, sabor y producción estacional hacen llamativo su consumo. México se ubica entre los países de mayor producción (Fig. 1), hacia el interior del país; Michoacán, Baja California y Guanajuato destacan como los principales productores del cultivo. El estado de Guanajuato pasó de primer a tercer lugar como productor de fresa en la última década (Fig. 2); la razón principal es el avance tecnológico que se ha implementado en los otros estados; mejores prácticas agrícolas, adopción de los recientes sistemas de producción forzada como la plasticultura, entre otros motivos.

#### Palabras clave:

Fresa (*fragaria vesca*); trasplante de hortalizas; trasplantadoras.

#### Keywords:

Strawberry (*fragaria vesca*); Vegetable transplanting; Transplanter.

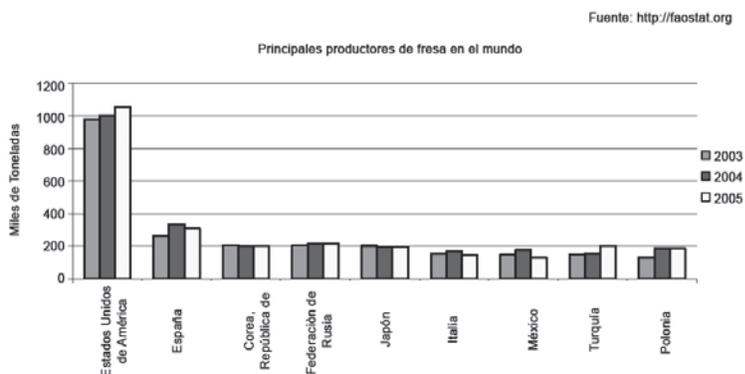


Figura 1. Principales productores de fresa en el mundo

\* Departamento de Ingeniería Agrícola, División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, Ex Hacienda “El Copal” carretera Irapuato – Silao, km. 9, Irapuato Gto. C.P. 36820, Tel. 462 624 52 15, Correo electrónico: cesarg@dulcinea.ugto.mx.

\*\* Montellano Estructuras y Construcciones S. A. de C. V.

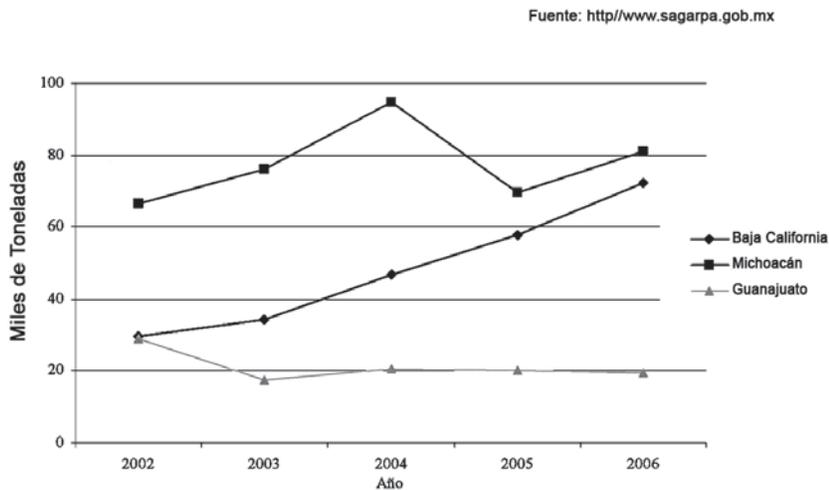


Figura 2. Historial de producción para los principales estados productores de Fresa en México

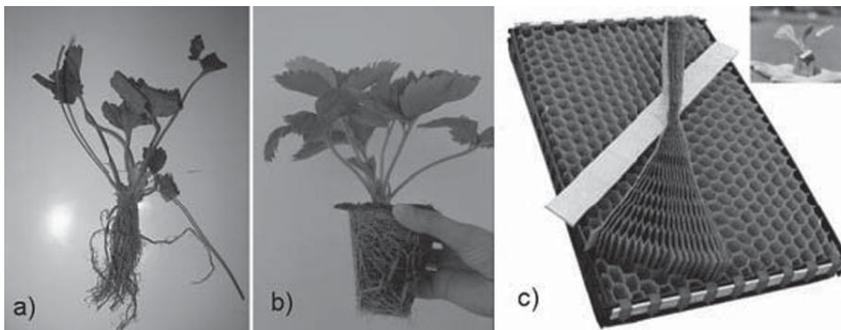


Figura 3. Presentaciones del material vegetal a trasplantar:  
a) raíz desnuda  
b) cepellón  
c) contenida en *paper pot*

El cultivo de la fresa se puede considerar como artesanal, pues a excepción de mecanización de la labranza primaria, el resto de las labores se realizan a mano; desde el trasplante de plantas hijas en campo de producción, hasta la cosecha escalonada, que perdura desde enero hasta junio aproximadamente. De manera similar a otros cultivos, la mano de obra representa la gran parte del costo de la producción. La labor que mayor mano de obra demanda es la recolección, seguida por el trasplante. Ambas actividades son susceptibles de ser mecanizadas, sin embargo la primera apunta hacia una solución agronómica con variedades de maduración homogénea. El trasplante mecanizado tuvo un gran acercamiento a ser desarrollado, en la década de 1980-1990, por el desarrollo de plantas *in Vitro* a través de ápices meristemáticos (López-Aranda, 2003), las cuales tienen vocación para ser trasplantadas de forma mecánica. Sin embargo los desórdenes fenológicos y fenotípicos que se producían en el fruto, generaron una mala reputación por causas reales o imaginarias que obligaron a centros de investigación de algunos países, como España e Italia, a abandonar esta tecnología, misma que en años recientes vuelve

a resurgir. Una opción de cultivar la fresa es colocar la plantita, desarrollada en vivero, en bandejas para formar cepellones, trasplantados después a campo de producción, sin embargo esta práctica no es conveniente, desde el punto de vista económico, para algunas frutas y hortalizas cuyo desarrollo no es por semilla sino vegetativo. En Bélgica se ha comenzado por seleccionar los estolones de plantas madre y después colocarlos en bandejas para la formación del cepellón, cuyo trasplante mecanizado es posible, sin embargo el costo que ello origina no proporciona una solución real comparado con el trasplante manual. En la mayoría de los países productores de fresa, y sobre todo en los líderes, aún se practica el sistema tradicional de trasplante manual, más aún con los nuevos sistemas de producción forzada como el acolchado de caballón.

El hecho de que la propagación del cultivo sea vegetativa, da como resultado una planta desarrollada en vivero y posterior trasplante a raíz desnuda, en campo de producción. Si aunado a ello se considera el sistema de acolchado de caballón, se tiene el problema aún mayor de trasplantar plantas a raíz desnuda sobre suelos acolchados.

Existen diversos tipos de presentación de las plantas para trasplante: a raíz desnuda, en cepellón o en papel biodegradable (Fig. 3), este último de mayor difusión en países orientales. Para cada presentación existen diversas máquinas trasplantadoras. Plantas a raíz desnuda pueden ser manipuladas por trasplantadoras de discos flexibles o pinzas prensoras (Fig. 4), con el inconveniente de que no pueden operar sobre suelos acolchados. Para plantas en cepellón la gama de opciones es más amplia (Fig. 5); en este caso sí se cuenta también con



Figura 4. Traslantadora de pinzas prensoras para plantas a raíz desnuda o en cepellón marca Sfoggia, de origen francés.



Figura 5. Traslantadora de vasos para plantas en cepellón, exclusivamente, marca Checchi & Magli, de origen italiano.

trasplantadoras que operan sobre suelos acolchados (Fig. 6). Para el caso de *paper pot* existen diversas posibilidades, aunque trasplantadoras comerciales no son comunes en este lado del mundo (Fig. 7).

Dentro del abanico de opciones arriba mencionadas no se cuenta con una trasplantadora de plantas a raíz desnuda que opere sobre suelos acolchados, como el caso de la fresa. Por lo anterior, en el Departamento de Ingeniería Agrícola de la División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca de la Universidad de Guanajuato se emprendió la tarea de diseñar una tecnología nueva que atienda los requerimientos de este tipo de operación, incluyendo el diseño del equipo respectivo.

## MÉTODOS

Es ampliamente comprobada la imposibilidad de la operación de la trasplantadora en campo cuando el terreno de asiento está húmedo, que en contraparte exige la planta antes de ser depositada en el suelo. Para demostrar la viabilidad técnica de realizar el trasplante mecanizado en suelo con humedad a punto de marchitamiento permanente (PMP) se realizó un estudio, donde se demuestra que se tiene un tiempo máximo de 2 h para aplicar riego, después de realizado el trasplante en suelo a PMP, y a continuación aplicar riego por goteo sectorizado (Gutiérrez C., *et al.*, 2006-1). Paralelamente en dicho estudio se analiza la viabilidad de podar la raíz de la planta de forma tal que se pudiera lograr homogeneidad en longitud del material vegetal a ser trasplantado, que desde el punto de vista del diseño de la máquina es indispensable, lográndose demostrar que el recorte de la raíz no tiene efectos estadísticamente significativos sobre la nascencia de las plantas, hecho que coincide con los estudios realizados por Duval (2002). Una vez demostrada la viabilidad técnica se procede con el estudio del diseño mecánico de la trasplantadora, tomando en cuenta los requerimientos de la planta y el suelo. Se diseña, construye y prueba el prototipo del mecanismo (módulo) de trasplante, de acuerdo con el concepto propuesto. Una vez probado el prototipo a nivel laboratorio, se procede al diseño y construcción de la máquina completa.

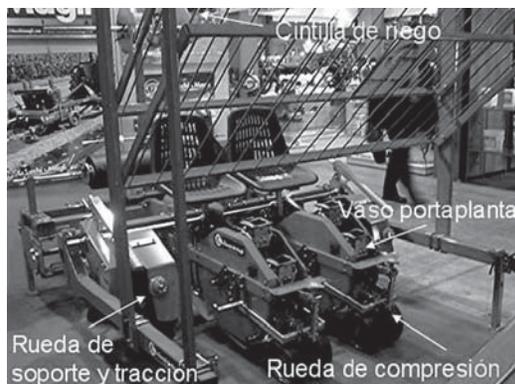


Figura 6. Traslantadora para plantas en cepellón, exclusivamente, que opera sobre suelos acolchados marca Checchi & Magli.

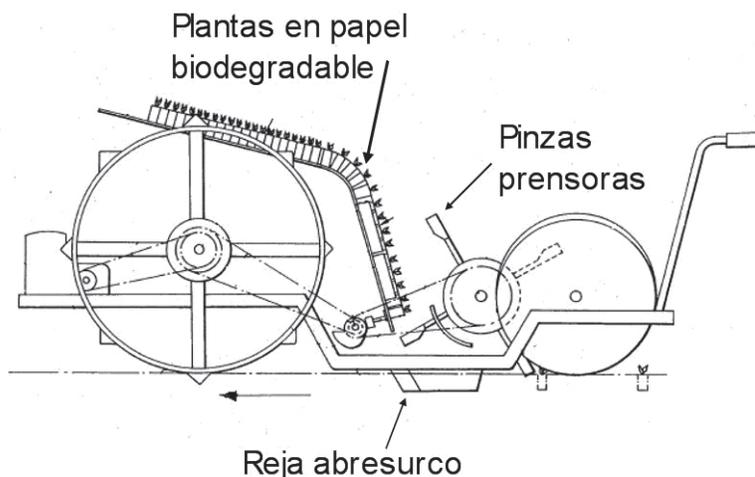


Figura 7. Traslantadora para plantas en papel biodegradable, exclusivamente. (Pat. US4597343) origen japonés.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Diseño, construcción y pruebas del módulo de trasplante

El primer paso del diseño consistió en estudiar diferentes alternativas para perforar el plástico que se coloca sobre el caballón donde se realiza el trasplante. En el mercado se pueden encontrar películas de polietileno ya perforadas, en esos casos el problema se resume a identificar las perforaciones referidas. Algunas trasplantadoras utilizan detectores (“dedos”) mecánicos de presencia o no de objetos, sin embargo resulta poco viable de aplicar en este caso (Gutiérrez *et al.*, 2006-2). En el mismo trabajo se ha estudiado la posibilidad de detección de la perforación por sensores fotoeléctricos, sin embargo éstos requieren todavía de mayor investigación para ser utilizados. También se ha ensayado perforación mecánica con cilindros dentados en movimiento angular (taladrado), opción que resultó también viable a velocidades angulares mayores a 3000 rev/min (Gutiérrez C., *et al.*, 2006-2), sin embargo en las condiciones de campo el cilindro cortador generaba desgarre en el plástico, además de que los residuos cortados permanecen en campo lo cual no es deseable.

Con las experiencias mostradas se planteó la alternativa de perforar el plástico con un objeto dentado que desciende verticalmente a alta velocidad (simulando un disparo), impulsado por un resorte helicoidal de compresión previamente cargado (Fig. 8). Para tener la certeza de que el plástico será cortado bajo distintas condiciones, Gutiérrez (2008) realizó un estudio exhaustivo donde se evaluaron distintas cuchillas, plásticos, suelos, velocidades de corte, humedades y compactación del suelo, midiendo como variable respuesta la energía necesaria para realizar el corte del plástico. Se encontró que la energía necesaria para realizar el corte, tomando en cuenta las diferentes variables, es de 10 J como máximo, por lo que dicho valor se utilizó para el cálculo del resorte que impulsa al cortador. Pruebas realizadas con el cortador demostraron, en 100% de los ensayos realizados, un corte satisfactorio del plástico (Gutiérrez *et al.*, 2007). Se comprobó también que cortar el plástico sobre suelo a capacidad de campo (CC), requiere profundidades de corte no menores de 10 cm, lo que acentúa la necesidad de trasplantar mecánicamente en suelo a PMP. Se determinó además que a mayor grosor de plástico se necesita mayor cantidad de energía para el corte, pero menor desplazamiento de la cuchilla al interior del surco, lo cual es preferible desde el punto de vista del diseño de la trasplantadora (Gutiérrez, 2008). La forma final del cortador consiste en una lámina dentada en el extremo en forma de “U” que produce un corte similar (Fig. 8).

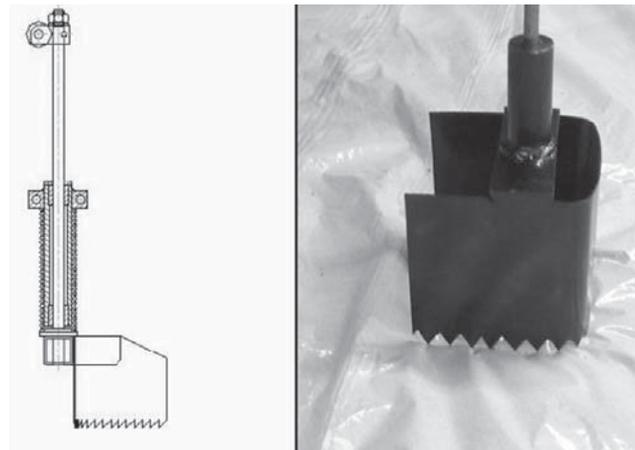


Figura 8. Elemento cortador de plástico

Paralelamente al diseño del cortador, se trabajó con un elemento capaz de eliminar el plástico de la sección cortada, para dejar el espacio descubierto de suelo a través del cual se coloca la planta. Después de varios intentos con diferentes soluciones conceptuales, se llegó a la opción de doblar y deslizar el plástico seccionado, ocultándolo debajo del lado no cortado de la cobertura del caballón, evitando con ello a la vez la contaminación del suelo con residuos sueltos de polietileno, como en caso de efectuar un recorte completo. Para tal acción se utilizó un pequeño marco de varilla (gancho) con dos dedos inferiores (Fig. 9), que en su trayectoria circular atrapan la sección cortada, la doblan y empujan por abajo del lado no cortado. El gancho en su extremo superior cuenta con un rodamiento conducido por la guía, lo que origina el giro del marco con respecto a un eje fijo en la estructura de soporte común para el cortador y el gancho.

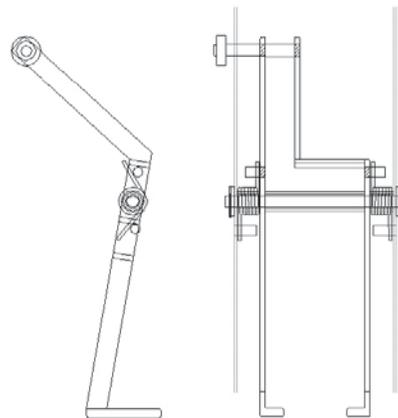
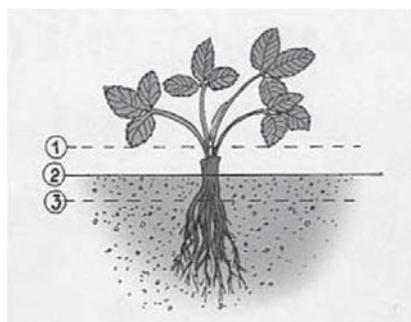


Figura 9. Gancho para ocultar el plástico cortado, vista lateral y frontal.

Uno de los problemas de manipular la planta a raíz desnuda es que ésta no tiene comportamiento de sólido por lo que para ser colocada al interior del suelo ha de ser guiada hasta ser depositada, sin dejarla caer por gravedad, principio de muchas trasplantadoras. También se ha de lograr la verticalidad de la raíz al interior del surco para no sacrificar el potencial productivo de la planta. Además la corona de la planta, órgano principal, ha de cubrirse con una delgada capa de suelo que le proteja de la intemperie, pero que permita la emergencia de la nueva planta (Fig. 10). Para tal efecto se construyó una pinza compuesta por dos hojas curvadas de lámina; en el interior de éstas se alberga la parte aérea de la planta, y en el extremo de la pinza se sujeta, por compresión, la raíz (Fig. 11). Al descender, la pinza se introduce 5 cm al interior del suelo, magnitud a la que fue podada previamente la raíz, una vez ahí la pinza abre por medio de un actuador guiado. A continuación la pinza abierta asciende, dejando la planta insertada en el suelo gracias a que aberturas laterales permiten el ingreso de suelo que da soporte a la planta (Fig. 12). Finalmente unas ruedas comprimen el suelo alrededor de la planta concluyendo con la labor.



Pofundidad de plantación:  
1) profunda  
2) justa  
3) superficial

Figura 10. Posición correcta de la planta en el terreno de asiento.



Figura 11. Pinza de trasplante que aloja la planta

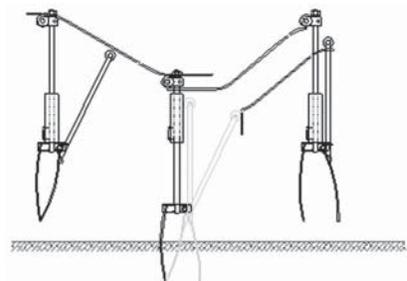


Figura 12. Pinza de trasplante en sus tres posiciones de operación.

Los tres elementos antes descritos: cortador, gancho y pinza, interactúan de forma secuenciada dentro de un dispositivo que les soporta, llamado por conveniencia módulo de trasplante (Fig. 13). Para verificar la funcionalidad del módulo de trasplante se construyó un dispositivo que permite, a nivel laboratorio, evaluar su funcionamiento correcto (Fig. 14). Se realizaron una serie de pruebas para evaluar los tres elementos antes citados. Se demostró que el conjunto realiza un trabajo satisfactorio en el 95% de los casos (Gutiérrez *et al.*, 2007-1). Guarella y Perellano (1990) indican valores de calidad de trabajo entre 72% y 97%, obtenidos en las pruebas de campo con diferentes tipos de trasplantadoras, condiciones del suelo y especies cultivadas. De aquí, los resultados de pruebas preliminares con el módulo descrito pueden considerarse satisfactorios.

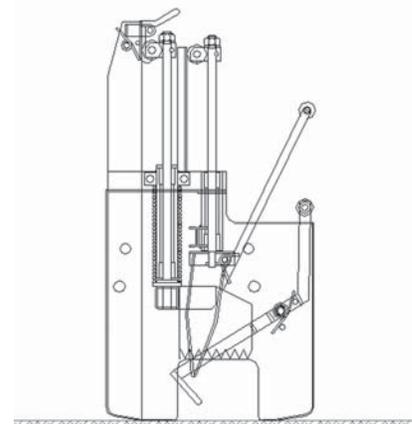


Figura 13. Vista esquemática del módulo de trasplante.



a)



b)



c)

Figura 14. Pruebas del módulo de trasplante con el dispositivo construido;  
a) vista general,  
b) preparación de prueba consecutiva,  
c) módulo de trasplante y la plántula depositada

### Diseño y construcción de la máquina trasplantadora

Con la seguridad de que el módulo de trasplante funciona de manera esperada, se procedió con el diseño de otros mecanismos indispensables para la operación secuenciada de una cadena de módulos (Fig. 15). Dos cadenas de módulos unidas forman un cuerpo trasplantador, y dos cuerpos trasplantadores formarán a la trasplantadora en cuestión.

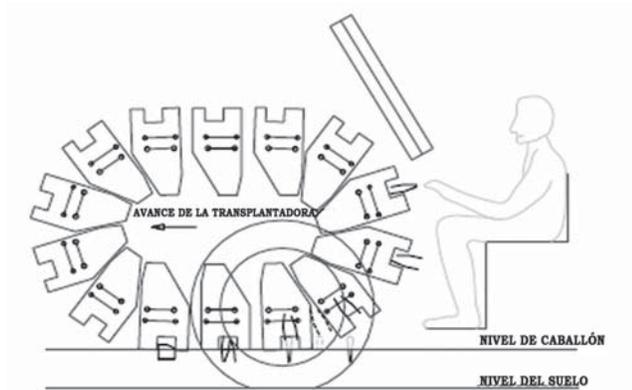


Figura 15. Vista esquemática de la cadena de módulos.

La cadena compuesta por 14 módulos, es guiada por dos pistas laterales paralelas al plano de operación de los módulos. A su vez la cadena se une a otra cadena homóloga por medio de pernos, lo que hace posible accionar dos hileras a la vez, formando el cuerpo trasplantador (Fig. 16). Los pernos se enganchan en la periferia dentada de un disco que va soportado sobre un eje motriz, el cual está accionado por la rueda de la máquina a través de una transmisión por cadena (Fig. 17). El mismo arreglo se repite para el otro cuerpo trasplantador, por lo que es posible atender en total 4

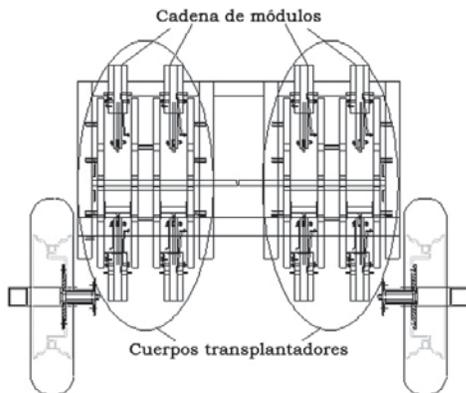


Figura 16. Vista esquemática frontal de la trasplantadora.

hileras en dos caballones. La necesidad de este ancho de trabajo tiene el sustento en que la viabilidad económica de una trasplantadora comienza a partir de ese valor, en parcelas no menores a 1 ha, Guarella y Perellano (1990).

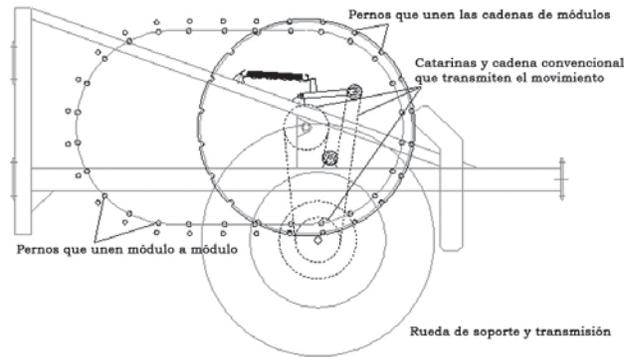


Figura 17. Sistema de transmisión de la trasplantadora.

La cadena de módulos va soportada sobre una estructura que contiene, además de las pistas laterales, las guías necesarias para activar el ciclo de operación del cortador, gancho y pinza (Fig. 18). En la figura 15 se puede observar los 3 módulos inferiores que se encuentran en contacto con el suelo y que tendrán una velocidad relativa nula respecto del mismo (movimiento tipo oruga). En ese tramo las guías activarán los actuadores de los elementos que cortan, ocultan y plantan. Previo al corte un cilindro compactador se encargará de nivelar el suelo para que el módulo se apoye correctamente al tocarlo. Después del trasplante un sistema de ruedas comprimirá el suelo alrededor de la planta, concluyendo con este paso el trasplante. Tanto las estructuras que soportan los módulos, el cilindro compactador, el sistema de ruedas prensoras y demás

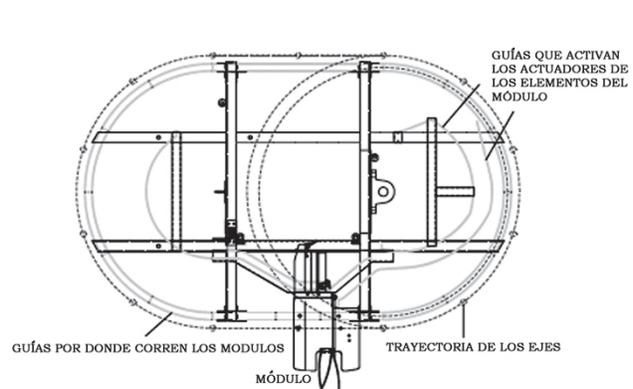


Figura 18. Vista esquemática lateral de las guías del módulo y de los actuadores.

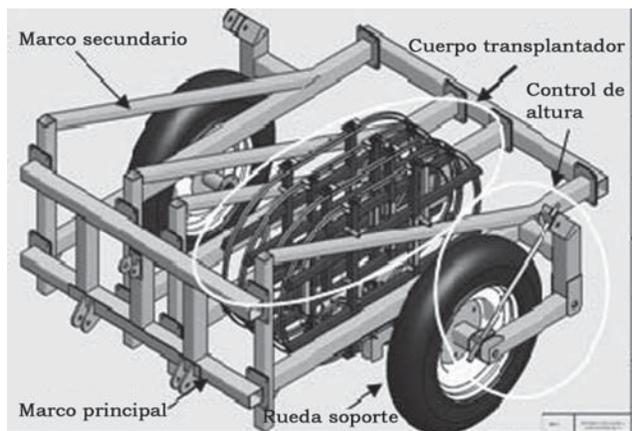


Figura 19. Vista isométrica de la trasplantadora.

elementos, están sujetos a un marco secundario y éste a su vez a un marco principal que contiene el sistema de tres puntos de enganche al tractor (Fig. 19).

Partiendo del hecho de que un operario es capaz de colocar cómodamente en las pinzas distribuidoras 30 plantas por minuto como máximo (Guarella y Pirellano, 1990), se determinó la velocidad de avance de 15 cm/min (0,5 km/h). Tal magnitud es baja para el tractor común, por lo que para jalar la trasplantadora será necesario el uso de un tractor tipo "lodero", con transmisión adicional especial (*creeper*).

La figura 20 muestra la vista lateral de la trasplantadora, donde se pueden apreciar algunos de los elementos antes mencionados. La figura 21 presenta un cuerpo trasplantador construido y montado sobre el marco de la trasplantadora. Al día de hoy se está concluyendo la construcción de elementos como: soporte porta-bandejas, asientos, cilindro compactador y ruedas prensoras. También se sigue la fase de pruebas en laboratorio previo a las pruebas de campo, donde puedan surgir algunas modificaciones. Tales ajustes tendrán que ser solventados antes de construir el otro cuerpo trasplantador, aunque ya se tiene muchos de los elementos que lo componen. La versión final de la trasplantadora se espera sea alcanzada a finales de 2009 y probada en campos de producción freseros. Se tiene confianza de llegar a la etapa de comercialización de la máquina antes de que la solución tecnológica de propagación *in Vitro* se haga una alternativa viable.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos hasta ahora confirman la factibilidad técnica de la nueva tecnología propuesta

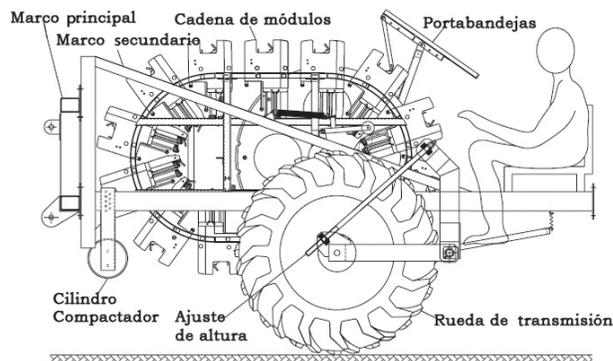


Figura 20. Vista lateral de la trasplantadora en su diseño preliminar.

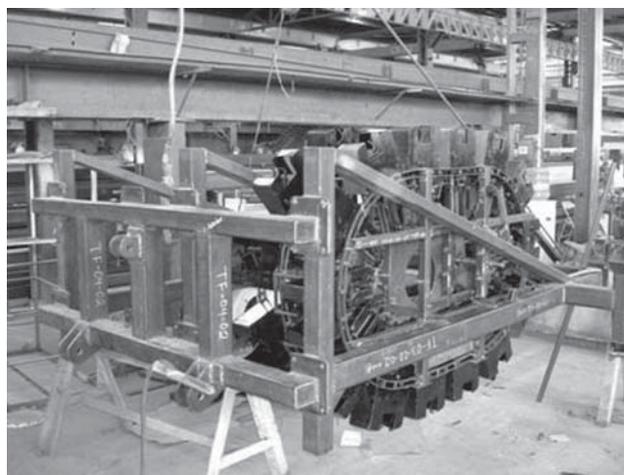


Figura 21. Traspantadora en fase de construcción.

para solucionar el problema de falta de mecanización de la operación de trasplante en cultivos plantados mediante plántulas con raíz desnuda en suelos acolchados, como es el caso de la fresa. Se comprobaron tanto los aspectos agronómicos, relacionados con el trasplante en suelo seco (PMP) y la posibilidad de recortar la plántula para unificar su tamaño, facilitando su manejo mecanizado, como los aspectos técnicos relacionados con el funcionamiento secuencial semiautomático de los mecanismos de la máquina diseñada. Se está consciente que el diseño lleva cierto grado de complejidad que involucra requerimientos referentes a la precisión en la fabricación de la máquina, cosa común en esta clase de equipos a nivel mundial, pero que sin embargo puede originar problemas en la etapa inicial de su fabricación. También el requerimiento del uso de tractores especializados para manejo de hortalizas, con sistemas de transmisión que ofrecen un intervalo adicional de velocidades de avance bajas,

puede constituir al principio un obstáculo adicional para la asimilación de esta tecnología, sin embargo los modelos recientes, disponibles en el mercado desde hace algunos años cuentan con dichos complementos, aunque sea en forma opcional.

El proyecto realizado permitió también generar nuevos conocimientos relacionados con el cultivo de la fresa y con el corte de películas de polietileno empleadas en el acolchado agrícola.

#### AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Guanajuato por su apoyo incondicional a la investigación. A la empresa Montellano Estructuras y Construcciones S.A. de C.V., por su decidida participación en el proyecto con recurso humanos y financieros y principal interesado en el desarrollo del prototipo. Al Consejo Nacional de la Fresa A.C. y sus agricultores agremiados, por sus consejos y apoyo en especie, principales actores a los que va dirigido el proyecto. Al CONACYT y CONCYTEG por el apoyo financiero recibido para la ejecución del proyecto, que ha generado además de desarrollo tecnológico, formación de recursos humanos a nivel licenciatura y doctorado. A la Universidad Politécnica de Valencia, España, participes en este y otros proyectos de forma conjunta con la Universidad de Guanajuato.

#### REFERENCIAS

- Duval J. R., Golden E. (2002). Severe root pruning of strawberry bare root transplants is yield neutral. *Hortscience*, 37 (7): 1132.
- Guarella P., Perellano A. (1990). La mecanización del trasplante en horticultura. *Hortofruticultura*, 1 (1): 38-63.
- Gutiérrez V. C. (2008). *Estudio y diseño del módulo de trasplante de una transplantadora para suelos acolchados en el cultivo de la fresa. Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Valencia, España. 85-160.
- Gutiérrez C., R. Serwatowski, J. M. Cabrera, N. Saldaña, A. Zavala (2007). Construcción y análisis de un módulo de trasplante para plantas a raíz desnuda sobre suelos acolchados. *Memorias del XVII Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola*. Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Durango, México. 236 - 244.
- Gutiérrez V. C., R. Serwatowski, J.M. Cabrera S., A. Flores G., B. Mendoza C., N. Saldaña R. (2006 - 1). Evaluación de corte de raíz y estrés hídrico en plantas de fresa. *Memorias del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola*. Guanajuato Gto. 6 al 8 de Noviembre.
- Gutiérrez V. C., R. Serwatowski, C. Gracia L. (2006 - 2). Estudio de detección o perforación de acolchado para el trasplante a raíz desnuda. *Memorias del XVI Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola*. Guanajuato, Gto. 6 al 8 de Noviembre.
- López-Aranda J. M. (2003). Multiplicación industrial *in vitro*. *Memorias del II Curso Internacional del cultivo de la fresa*. Huelva, España.
- Nambu T. U. S. Patent 4,597,343. Jul. 1, 1986. Continuous paper tube potted seedlings separation transplanting machine.