

Evaluación tecnológico-explotativa del conjunto multiarado-tractor

J. D. modelo 4235, en la labor de preparación primaria de un suelo vertisol

Francisco Gutiérrez Rodríguez*, Andrés González Huerta*, Rodolfo Serrato Cuevas* y Thomas H. Norman Mondragón*

Recepción: agosto 25 de 2003

Aceptación: febrero 9 de 2004

* Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México.
Correo electrónico: fgr@uaemex.mx

Resumen. En la actualidad, la labranza de conservación se utiliza extensivamente en la agricultura de México. Esto implica el empleo de máquinas más eficientes y de mayor productividad, como el multiarado para la labor de preparación primaria de los suelos con vocación agrícola. En este trabajo se determinaron los coeficientes tecnológicos y de explotación del conjunto multiarado M250-Tractor J. D. 4235 (CMT) en la labor de preparación de un suelo vertisol en 28.8 ha en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México. El alto valor obtenido en el coeficiente de seguridad de explotación ($K_{sc} = 0.997$) fue indicativo de la alta productividad y eficiencia del multiarado.

Palabras clave: CMT (multiarado), elementos del tiempo, coeficientes tecnológico-explotativos, productividad por hora de tiempo limpio (W_f).

A Technological-Operational Evaluation of the Multi-plow Tractor J. D. Model 4235, During the Primary Preparation of a Vertisol Soil

Abstract. Currently, conservation tillage is being used extensively in Mexican agriculture. It implies the use of new, more efficient machines with higher productivity such as the multi plough set for the primary preparation of soils with an agricultural vocation. This study determines the technological-exploitative indices (coefficients) of the multi plough set M250-Tractor J. D. 4235 (CMT) in the preparation of a vertisol soil of 28.8 ha. The high value obtained in the exploitation security coefficient was indicative of the productivity and efficiency of the multi plough set.

Key words: CMT (multi plough set), time elements, technological-exploitative indices (coefficients), productivity per hour of free time (free-dust time or free-trash time, W_f).

Introducción

La mecanización de los sistemas de producción agropecuaria de México ha facilitando el trabajo extenuante del productor.

Los complejos mecanizados revisten gran importancia en las condiciones modernas de desarrollo y crecimiento de la economía agrícola. Por eso, la productividad y eficiencia de

las nuevas máquinas, como el multiarado, juegan un papel determinante en el proceso de producción de alimentos. Para lograrlas, es necesario buscar 'reservas' que permitan al productor incrementar sus cosechas y disminuir los costos mediante el uso racional de los recursos suelo y agua.

Así, adquieren especial importancia los problemas de planificación, control y explotación de la maquinaria agrícola

disponible y de otros medios mecanizados en la agricultura. Una estrategia útil para abordarlos es el establecimiento de un sistema de indicadores que permita dimensionar la efectividad en el manejo y explotación de las máquinas usadas en el proceso productivo. El interés de su observación y aplicación puede ilustrarse en su utilidad a las instituciones de investigación, para la introducción de métodos de mecanización más avanzados que incidan en una mayor productividad agrícola, y que para que los productores logren un uso más eficiente de los medios mecánicos disponibles.

Es sabido que la mecanización de las operaciones durante el proceso de producción agrícola se ejerce por los conjuntos de máquinas que representan, según Jróbstov (1987: 100-105), una combinación tripartita del elemento energético o impulsor (motor), del mecanismo de transmisión y de las máquinas o instrumentos agrícolas empleados para un trabajo tecnológico determinado. A esta unión se le llama conjunto máquina tractor (CMT). El autor mencionado advierte que el CMT deben cumplir los siguientes requisitos: *a)* garantizar una buena calidad agrotécnica para el cultivo de interés; *b)* asegurar una alta productividad; *c)* que sus máquinas compo-

nitivo es posible obtener una mayor cantidad de productos con menor utilización de mano de obra y medios, lo que abarata los costos de producción y se obtiene, adicionalmente, una alta organización productiva en los medios mecanizados que se explotan en los campos agrícolas (Delgado, 1995: 10-19). Como ya se ha planteado, una forma de valorar la importancia de esto último es a través de la determinación de los índices tecnológicos-explotativos de los CMT utilizados en los distintos sistemas de producción agrícola. La relativa sencillez de la metodología para su determinación y los resultados que de ella se obtienen, pueden ser de gran utilidad en el proceso de enseñanza-aprendizaje en las asignaturas relacionadas con el área del conocimiento en maquinaria agrícola. Un ejemplo ilustrativo de esto es el cálculo de los índices tecnológicos-explotativos del CMT-multiarado, considerados en este trabajo para evaluar la productividad y eficiencia de dicho instrumento de preparación primaria de un suelo vertisol (objetivo de la investigación), según la hipótesis de que estos índices se aproximan a la unidad, dadas las características de construcción de esta máquina.

El conjunto máquina tractor debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) garantizar una buena calidad agrotécnica para el cultivo de interés;**
- b) asegurar una alta productividad; c) que sus máquinas componentes sean confiables; y, d) que la organización del servicio del CMT sea lo más rápido y cómodo posible.**

nentes sean confiables; y, *d)* que la organización del servicio del CMT sea lo más rápido y cómodo posible.

Según Orlov (1975: 125), la eficacia de este CMT depende de las cualidades de explotación del tractor y de las máquinas o instrumentos agrícolas, así como de su correcta conjunción, ya que existen indicadores como el de seguridad de explotación (Orlov, 1974: 87-91), que pueden llegar a ser de hasta 0.92 (en máquinas con órganos de trabajo activos), de acuerdo con las condiciones y propiedades de los materiales empleados en su fabricación.

Bondarenko (1981: 18-19) plantea que los altos coeficientes de explotación significan altas productividades en el rendimiento de las máquinas agrícolas, es decir, una alta cantidad de trabajo realizado con determinada calidad por unidad de tiempo.

En las condiciones actuales, ante la creciente generación de nuevas técnicas agrícolas, por cada hectárea de suelo cul-

1. Materiales y métodos

Este estudio se realizó en la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicada en el *campus* universitario 'El Cerrillo', en El Cerrillo, Piedras Blancas, municipio de Toluca, Estado de México, localizado a 19° 23' 30" de latitud norte y a 99° 41' 30" de longitud oeste del meridiano de

Greenwich, y a una altura de 2,609 msnm (Saavedra, 1991: 21). El suelo vertisol predomina en esta área agrícola y presenta una erosión no perceptible; su textura está entre las conocidas como 'texturas finas', que se caracterizan por ser muy adherentes. Se eligió porque este tipo de suelo es el más tenaz, duro y ofrece una mayor resistencia traccional al CMT al someterlo a condiciones muy severas de trabajo.

Para la evaluación de los índices tecnológicos y explotativos del CMT en la labor de preparación primaria del suelo, previa a la siembra de maíz, se utilizó un tractor John Deere 4235 (con aproximadamente 10 mil horas de trabajo) unido a un multiarado M-250 (con aproximadamente 250 horas de trabajo) (Agroingeniería, S.A. de C.V.), que, de acuerdo con las exigencias del fabricante, debe ser unido a un tractor de 74.5 a 89.4 kW de potencia. Se eligió a un operador con cinco o más años de experiencia para la realización de este proceso tecnológico. El multiarado M250 tiene 160 m de anchura,

estructura totalmente rígida (con órganos de trabajo pasivos) y cuyo mantenimiento técnico se reduce solamente al apriete de la tornillería que une sus distintas partes.

La metodología empleada se basó en las normas cubanas 34-37 (Ministerio de Agricultura, 1985) y 34-38 (Ministerio de Agricultura, 1990); en las del Comité Estatal de Normalización, y en los procedimientos propuestos por Garrido (1984: 398-412), con algunas adecuaciones de Gutiérrez y Carrión (1986: 78).

Se registraron cronológicamente todas las operaciones y los elementos del tiempo de trabajo del CMT hasta la culminación de la jornada, con un margen de error no mayor de 0.1%, usando un cronómetro de precisión ($\pm 1.0\%$), en un terreno de 28.8 ha de configuración irregular y plana (pendiente menor a 1%), con longitud promedio de 300 m y un ancho de parcelas variable. La profundidad de trabajo del multiarado $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ fluctuó de 35 a 40 cm. El método de viraje escogido fue el de 'lazo de regreso', y la velocidad media del CMT fue de $4.8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ en la tercera velocidad reducida; la prueba de campo se realizó en enero y febrero del 2000.

Para el cálculo de los índices y la productividad por hora de tiempo limpio (W_l) y de seguridad de explotación (W_{sc}) del conjunto multiarado-tractor (CMT), los resultados del cronometraje de los elementos temporales se procesaron como sigue:

$$T_g = T_{pe} + T_v + T_{st} + T_{mt} + T_{pt} + T_d + T_o + T_m + T_f + T_t$$

Donde:

T_g = Tiempo general o total de explotación del conjunto multiarado-tractor en una jornada de trabajo.

T_{pe} = Tiempo preparativo conclusivo. Se refiere al tiempo utilizado para la composición del CMT, su mantenimiento técnico diario y el necesario para trasladarlo desde el taller o almacén de maquinaria hasta el lugar de trabajo.

T_v = Tiempo de viraje en la cabecera del campo de trabajo.

T_{st} = Tiempo de servicio tecnológico (suministro de semillas, fertilizantes y otros, que son propios de una máquina sembradora-fertilizadora).

T_{mt} = Tiempo empleado en el mantenimiento técnico del CMT durante la jornada de trabajo.

T_{pt} = Tiempo perdido por interrupciones del proceso tecnológico (embotamiento y limpieza del multiarado, entre otros).

T_d = Pérdida de tiempo por desperfectos técnicos (caída de cadenas, rotura de tornillos, patinaje de embrague de seguridad, roturas y otros).

T_o = Tiempo perdido por causas organizativas (fallas imprevistas).

T_m = Tiempo perdido por causas meteorológicas (lluvias y otros).

T_f = Tiempo perdido por causas fisiológicas del operario del CMT (tiempo de almuerzo, otros).

T_t = Tiempo de *trabajo limpio* (efectivo) para la realización de la labor.

Como puede observarse, estos elementos del tiempo que componen a T_g se relacionan con el conjunto de actividades y eventos que ocurren durante el trabajo de explotación del CMT y contribuyen de manera directa o indirecta al valor del coeficiente de seguridad tecnológico-explotativo y de productividad (eficiencia) de éste o del multiarado en particular, además de ser un reflejo de la calidad en la organización del trabajo por realizar, como en este caso, la preparación del suelo (proceso tecnológico).

Según Jróbostov (1987: 100-105) con el cronometraje preciso de estos elementos pueden determinarse los siguientes coeficientes:

- De utilización del tiempo limpio de trabajo (τ):

$$\tau = T_t (T_g)^{-1}$$

- De utilización del tiempo del turno (τ_{tu}):

$$\tau_{tu} = T_t (T_{tu})^{-1}$$

Donde:

T_{tu} = Tiempo de duración del turno de trabajo, que a su vez se calcula como:

$$T_{tu} = T_g - T_{pe}$$

Por otro lado, los gastos de tiempo cronometrados ($T_v, T_{st}^*, T_{mt}^*, T_{pt}^*$ y T_d^*),¹ íntimamente ligados a T_t durante la jornada de trabajo, se analizaron a través de los coeficientes propuestos por Garrido (1984: 398-412), a saber:

- Coeficiente del tiempo de viraje:

$$K_v = T_t (T_t + T_v)^{-1}$$

- Coeficiente de pérdidas de tiempo durante el proceso tecnológico:

$$K_{pt} = T_t (T_t + T_{pt})^{-1}$$

1. En esta investigación se considera que $T_{st} = T_{mt} = T_d = 0$, por lo que no se calcularon sus coeficientes respectivos.

Cuadro 1. Cronometraje total (h:min:s) de los elementos de tiempo del CMT considerados en esta investigación para la preparación de un suelo vertisol.

Elementos	Denominación	Tiempo total (min:seg)	Tiempo (h:min:s)
T_{pe}	Tiempo preparativo conclusivo	184:16	3:04:16
T_v	Tiempo de viraje	47:51	0:47:51
T_{st}	Tiempo de servicio tecnológico	00:00	0:00:00
T_{mt}	Tiempo empleado en el mantenimiento técnico	00:00	0:00:00
T_{pt}	Tiempo perdido por interrupciones del proceso tecnológico	3:17	0:03:17
T_d	Pérdida de tiempo por desperfectos técnicos	00:00	0:00:00
T_o	Tiempo perdido por causas organizativas	5:12	0:05:12
T_m	Tiempo perdido por causas meteorológicas	0:00	0:00:00
T_f	Tiempo perdido por causas fisiológicas	209:02	3:29:02
T_l	Tiempo de trabajo limpio	1,076:42	17:56:42
T_g	Tiempo general (total) de explotación	1,525:40	25:25:40
Superficie laborada durante las horas de trabajo de CMT (multiarado) (ha)			28.80

Cuadro 2. Coeficientes obtenidos del trabajo del CMT en la preparación primaria del suelo usando un multiarado.

De utilización del tiempo limpio de trabajo (τ)	0.706
De utilización del tiempo del turno (τ_{tu})	0.803
Del tiempo de viraje (K_v)	0.958
De pérdidas de tiempo durante el proceso tecnológico (K_{pt})	0.997
De pérdidas de tiempo por desperfectos y roturas (K_d)	1.000
Para los tiempos independientes (K_i)	0.729
De seguridad de explotación (K_{sc})	0.997
Productividad por hora de tiempo limpio (W_l) en ha · h ⁻¹	1.605
Productividad por hora de tiempo de seguridad de explotación (W_{sc}) en ha · h ⁻¹	1.605

El coeficiente general para los tiempos independientes, no relacionado directamente con la duración del proceso tecnológico (T_{pe} , T_o , T_m y T_f), se determinó, según Garrido (1984: 398-412), como sigue:

$$K_i = (T_i) (T_i + \sum T_i)^{-1}$$

Donde:

i = Índice correspondiente a cada tiempo (T) independiente.

El coeficiente de seguridad de explotación (K_{sc}), que cuantifica la eficiencia explotativa del CMT (multiarado) utilizado en la preparación primaria del suelo, se determinó por:

$$K_{sc} = T_l (T_l + T_d + T_{pt} + T_{mt} + T_{st})^{-1}$$

El coeficiente de pérdidas de tiempo por desperfectos y roturas (K_d), se calculó de la siguiente manera:

$$K_d = T_l (T_l + T_d)^{-1}$$

Adicionalmente, se calculó la productividad (W) del CMT (multiarado) porque permite evaluar la rapidez y la calidad con la cual se efectuó el proceso tecnológico (preparación del suelo) usando este conjunto, lo cual, como afirma Ga-

rrido (1984: 398-412), repercute en el factor económico.

Según Iofinov (1994: 69), esta productividad puede determinarse por hora de tiempo limpio (W_l), que resulta de considerar solamente el trabajo directo (efectivo) sobre la superficie de suelo en preparación por hora de tiempo limpio (T_l). Se calculó utilizando las adecuaciones propuestas por Gutiérrez y Carrión (1986: 78):

$$W_l = Q (T_l)^{-1}$$

Donde:

Q = Área o superficie laborada durante el trabajo, en ha.

También se valuó la productividad por hora de tiempo de seguridad de explotación (W_{sc}) en ha · h⁻¹, sugerida por estos autores, y que cuantifica la eficiencia explotativa del CMT (multiarado) por hora de tiempo en el cual se está explotando este conjunto para el proceso tecnológico:

$$W_{sc} = Q (T_l + T_d + T_{pt} + T_{mt} + T_{st})^{-1}$$

2. Resultados y discusión

El tiempo de la prueba realizada por el CMT (multiarado) empleado para la preparación primaria del suelo fue de 25 h y 25 min (cuadro 1), suficientemente alto para cumplir con el tiempo limpio (efectivo) de trabajo de 15 h exigido por las normas cubanas 34-37 (Ministerio de Agricultura, 1985) y 34-38 (Ministerio de Agricultura, 1990), y por las del Comité Estatal de Normalización, utilizadas como referencia en esta investigación.

Los resultados del cronometraje de todas las operaciones y los elementos del tiempo de trabajo del CMT (multiarado), hasta la culminación de la jornada, se presentan en el cuadro 1.

En este cuadro se observa que el tiempo empleado en desperfectos técnicos (T_d) del CMT (multiarado) durante el proceso tecnológico fue nulo, lo cual era de esperarse dadas las características de calidad técnica y tecnológica de su fabricación; eso explica por qué K_d fue igual a la unidad (cuadro 2). El tiempo preparativo conclusivo (T_{pe}) representó 12.1% del tiempo total invertido en la prueba (T_g), lo

cual, según Iofinov (1994: 38-42) está dentro de lo normal debido a la necesidad de preparar las máquinas antes de usarlas. El tiempo de viraje (T_v) representó 3%, y su evaluación se realizó a través del coeficiente correspondiente K_v , que fue de 0.958 (cuadro 2). Su comportamiento revela que el método de viraje escogido, 'lazo de regreso', en la cabecera del campo de trabajo fue el idóneo y que las pérdidas de tiempo durante el proceso tecnológico fueron muy pequeñas. Esto generalmente es así debido a que el administrador del parque de máquinas y tractores hace lo necesario para que K_v se mueva en valores cercanos a la unidad, aunque nunca llegará a este valor por las pérdidas de tiempo obligadas que se generan en la cabecera del campo.

En lo referente al coeficiente de utilización del tiempo limpio de trabajo (τ), su comportamiento ($\tau = 0.706$) fue menor a lo esperado, pues para el caso de máquinas agrícolas con órganos de trabajo pasivos como el multiarado, este coeficiente debe tener un valor aproximado de 0.80 según Garrido (1984: 398-412) y Vediniapin (1968: 289). Ello se debió fundamentalmente a que el operario del CMT consumió un tiempo T_f muy superior al programado en comidas y descansos; también habrán de considerarse las pérdidas de tiempo ocasionadas por el embotamiento y limpieza del multiarado (T_{pl}), provocado por la hojarasca de la cosecha anterior de maíz, y que se ven reflejadas en el valor obtenido de K_{pl} (0.997), en el cuadro 2, así como las pérdidas en los distintos elementos de tiempo que componen a K_i (0.729) y que representaron hasta 26% del tiempo total de explotación del CMT (multiarado) (T_g).

No obstante lo anterior, cuando se analiza el coeficiente de utilización del tiempo del turno de trabajo, $\tau_{in} = 0.803$ (cuadro 2), donde no se consideran algunos tiempos perdidos, se observa que fue superior. A este respecto, algunos autores como Vediniapin (1968) mencionan que τ_{in} puede moverse en un rango de 0.7 a 0.8; lo que no dejan claro es cuándo tomar un valor u otro. De acuerdo con los datos del Instituto de Investigaciones de la Maquinaria Agrícola de la URSS (Gosniti, 1989, citado por Mogorianu, 1983: 53-57), este coeficiente se mueve en el rango de 0.58 a 0.89, según la tecnología utilizada, la configuración de los campos, la calidad en la organización del trabajo, el largo de la pasada, la topografía del terreno y el tipo de suelo, entre otros.

Por otro lado, el valor obtenido en el coeficiente de seguridad de explotación K_{sc} (0.997) fue muy cercano a la unidad; ello es indicativo de la alta productividad y eficiencia del CMT cuando no existen obstáculos en el suelo que puedan ocasionar pérdidas de tiempo, y por lo tanto una caída en la productividad y en algunos otros índices y coeficien-

tes. Orlov (1974: 87-91) afirma que el valor de K_{sc} puede, en el mejor de los casos, llegar a ser de 0.92 cuando se trata de máquinas con órganos de trabajo activos; no menciona el valor para aquellos con órganos de trabajo pasivo.

La productividad obtenida por hora de tiempo limpio (W) fue de $1.605 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$ (cuadro 2), un valor muy alto si se considera que en esta investigación T_i representó 70.6% del tiempo total de explotación del CMT (multiarado). La importancia de este parámetro puede visualizarse si se compara el valor de 1.605 con el obtenido en otras investigaciones realizadas con CMT (arado de tres discos) en las mismas condiciones. Delgado (1995: 10-19) reporta un valor $W_i = 0.187 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$, lo que demuestra que para la misma labor de preparación primaria de suelos, el multiarado es más eficiente.

Por otra parte, el mismo valor encontrado en la productividad por tiempo de seguridad de explotación ($W_{sc} = 1.605 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$), donde se incluyen los elementos del tiempo involucrados en la explotación del CMT (multiarado) para realizar el proceso tecnológico, corrobora la eficiencia de este instrumento agrícola en la labor de preparación primaria, en específico del suelo vertisol, realizados en este estudio.

Conclusiones y recomendaciones

El bajo comportamiento observado del coeficiente de utilización del tiempo limpio (efectivo) de trabajo ($\tau = 0.706$) revela la necesidad de tomar medidas que tiendan a un aprovechamiento más racional del tiempo: tratando de eliminar en lo posible el exceso en labores que no tengan un impacto directo en la productividad del CMT (multiarado).

El alto valor obtenido en el coeficiente de seguridad de explotación K_{sc} (0.997) indica la eficiencia del multiarado usado como instrumento para la preparación del suelo, según se corrobora con los valores encontrados de W_{sc} y W_i ($1.605 \text{ ha} \cdot \text{h}^{-1}$). Asimismo, el hecho de que el respectivo coeficiente de pérdidas de tiempo por roturas y otros desperfectos (K_d) haya sido igual a la unidad durante esta labor (proceso tecnológico) permite afirmar que el multiarado es confiable en aquellos suelos donde la pedregosidad sea mínima y, dadas sus características constructivas, puede ser recomendado para su uso en suelos vertisol, como en los del valle de Toluca y con una pendiente no mayor de 1%.

No obstante, estos resultados no deben tomarse como concluyentes en virtud de que será necesario realizar repeticiones en tiempo y espacio en otras localidades con características similares y con distintos tipos de suelos para conocer el rango de variación, entre otros elementos, de los índices y coeficientes tecnológico-explotativos considerados en este estudio.

Bibliografía

- Bondarenko, N. G. (1981). *Organizatsiia i tekhnologiia mekhaniziravannix rabot v polevodstvii izdatelstvo nisbaia sbkola*. Kiev, Ucrania.
- Delgado, Q. R. (1995). *Índices tecnológico-explotativos del conjunto máquina-tractor en la labor mecanizada de aradura, en la Facultad de Ciencias Agrícolas*. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca.
- Garrido, P. J. (1984). *Implementos, máquinas agrícolas y fundamentos para su explotación*. Ed. Científica Técnica, La Habana, Cuba.
- Gutiérrez, R. F. y A. Carrión (1986). *Explotación del parque de máquinas y tractores*. Editorial ISCAB Bayamo, Cuba.
- Iofinov, S. A. (1994). *Chto delat iesli u vas est kaliosni tractor*. Izdatelstvo Agrarnaia gasudarvesnaia Universiteta Sankt Peterburga. Sankt Peterburg.
- Jróbostov, S. N. (1987). *Explotación del parque de tractores y máquina* (trad. del ruso Luis Gómez I.). 6ª ed., Ed. MIR. Moscú.
- Ministerio de Agricultura
 _____ (1990). *Norma Cubana 34-38, Metodología para la evaluación tecnológica explotativa*. Editorial Minagric, La Habana, Cuba.
- _____ (1985). *Norma Cubana 34-37, Metodología para la evaluación tecnológica explotativa*. Editorial Minagric, La Habana, Cuba.
- Mogorianu, V. I. (1983). *Efektivnaia ispolzovaniia mashino traktornava parka*. Izdatelstvo Kolos, Moskva.
- Orlov, P. A.
 _____ (1974). *Diseño mecánico* (trad. del ruso José Puig Torres). Ed. MIR, Moscú.
- _____ (1975). *Diseño mecánico* (trad. del ruso José Puig Torres). Tomo 2. Ed. MIR, Moscú.
- Saavedra, G. C. (1991). *Evaluación de siete variedades de Solanum tuberosum L.* Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca.
- Vediniapin, G. V. (1968). *Exploatatsiia mashino traktornava parka*. Izdatelstvo Kolos, Moskva.