

# Caracterización de Sistemas de Labranza para la Conservación de Humedad y Energía en Zonas Semiáridas

Domínguez-López René F<sup>1</sup>., Zarzosa-Vega Ricardo F<sup>1</sup>., Quiroz-Andrade Fabián J<sup>1</sup>., López-Álvarez Yadira F<sup>1</sup>., Muñoz- De la Cruz Fabiola C<sup>1</sup>., Guerrero-Contreras Zaida R<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Profesor-Investigador. Universidad Tecnológica del Norte de Aguascalientes, Dirección Académica de Desarrollo de Negocios y Agricultura Sustentable y Protegida. Av. Universidad 1001. Estación Rincón, Rincón de Romos, Aguascalientes., México, C.P. 20400, [rene.dominguez@utna.edu.mx](mailto:rene.dominguez@utna.edu.mx)

## Resumen

El propósito principal de la investigación fue evaluar sistemas de labranza tradicional y sistemas de labranza de conservación (labranza vertical), se tomaron datos en la densidad aparente, índice energético y rugosidad, seguimiento a la humedad en parcelas establecidas con sorgo forrajero en la temporada de secano, evaluar la producción de materia seca en cada parcela experimental en  $\text{ton ha}^{-1}$ . El diseño experimental fue parcelas divididas de A x B, donde "A" fueron las parcelas grandes tipos de labranza, labranza vertical con el vibrocultivador (L V V), labranza tradicional con la rastra (LTR), arado más rastra (LTAR), labranza vertical multiarado a 15, 23 y 30 cm de profundidad (LVM<sub>1</sub>, LVM<sub>2</sub> y LVM<sub>3</sub>) y siembra directa (SD), "B" fueron las parcelas chicas fueron tasas de cobertura ( 0%, 40%, 70% y 100% ) con dos repeticiones, para el seguimiento a la humedad. La labranza vertical con la (LVM<sub>1</sub>, LVM<sub>2</sub>, LVM<sub>3</sub>) y LTAR obtuvo mayores cambios en la densidad aparente. En lo que respecta al índice energético la labranza vertical ahorra energía en comparación con el sistema tradicional. En el seguimiento de humedad se observó que, en un perfil de cero a quince cm, conservó más humedad LTR y LVM<sub>3</sub> en comparación con los otros tratamientos, y en un estrato de suelo de quince a veinticinco cm, la humedad se comportó igual. Para la producción de materia seca en  $\text{ton ha}^{-1}$ . La LVM<sub>3</sub> fue mayor en comparación con los demás tratamientos alcanzando una producción de  $9.94 \text{ ton ha}^{-1}$ , seguidos SD y LVM<sub>2</sub> con una producción promedio de  $7.85 \text{ ton ha}^{-1}$ , por último LVM<sub>1</sub>, LVV, LTAR y LTR con una producción promedio de  $5.6 \text{ ton ha}^{-1}$ . También se observó que la mejor relación entre el porcentaje de humedad conservada, combustible gastado y rendimiento de materia seca fue mejor la siembra directa.

**Palabras clave:** tasas de cobertura, Consumo de energía, sistemas de labranza

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha incrementado el interés por el uso eficiente de la energía y la conservación de los recursos del suelo y agua, principalmente donde es escasa, lo anterior ha traído un cambio en actitudes con respecto a las prácticas de manejo de suelo y los residuos. Cada año se da más énfasis al uso de las labranzas mínimas y a la preparación de la cama de siembra en la agricultura de secano. Los agricultores alteran tales propiedades físicas de los suelos, con el uso de labranzas mínimas o secundarias en un intento por crear condiciones óptimas para la siembra, la germinación, el desarrollo y el rendimiento del cultivo (FAO, 2003). La labranza

puede favorecer o disminuir el riesgo de degradación por erosión, con una alta proporción de agregados estables al agua y buena permeabilidad, la disturbación mecánica de los suelos para el establecimiento de cultivos es probable que incremente el riesgo de la erosión. Por otra parte, cuando la superficie del suelo es suave, sin rugosidad, con capas inferiores compactas, estructura masiva y no porosa, la labranza mecánica es probable que disminuya el riesgo de la erosión del suelo (Hoogmoed,1999). Esto demuestra, que la pérdida de suelo por erosión es solo una parte del problema. La pérdida de agua, que no llega a infiltrar suficientemente en los suelos agrícolas a largo plazo puede causar problemas aún más graves. Como consecuencia de esto tenemos que cambiar

drásticamente nuestra forma de laborar el suelo. La erosión y la pérdida de agua no se combaten con medidas de control mecánico, sino se combate con una estructura viva y estable del suelo. Solo esto permite, que el agua de la lluvia no comience a correr en la superficie, sino infiltre lo más completo posible. En las zonas semiáridas y subhúmedas la energía solar está disponible en cantidades adecuadas, aunque las producciones de cultivos reales sean inferiores que las producciones que máximo podrían ser obtenidas bajos los niveles de radiación solar (debido a las deficiencias de agua, nutrientes, temperaturas optimas, competición de malezas, parásitos, y un mal manejo etc.) (Hoogmoed, 1999). El balance energético agrícola es un tema complejo y está fuera del alcance de esta tesis, pero ciertos datos se presentan aquí para indicar la posición de la labranza del suelo dentro del balance energético. En muchos países industrializados, la energía para la producción agrícola por lo general representa menos de 5 por ciento del consumo de energía total (nacional). Esta es principalmente energía comercial (combustibles fósiles). En países en vías de desarrollo, donde la agricultura forma generalmente una parte importante de las actividades económicas, la utilización de la energía comercial puede ser tan baja de 10% del consumo total, el resto proviene de la leña o de los residuos del cultivo. El trabajo humano y del animal forma una parte importante de la entrada de energía para la producción agrícola (Hoogmoed, 1999). La parte de inversión de los balances de energía para los sistemas de agricultura aplicados en los países desarrollados consiste principalmente en el combustible, fertilizantes, la irrigación, maquinaria, transporte, y los procesos de secado al labrar. En esos sistemas usan métodos convencionales de labranza, la labranza de riego es aproximadamente del 5% y hasta el 15% para los sistemas de secano (todos los factores expresados en unidades de energía). Fertilizantes, riego y mecanización son los mayores consumidores de energía. (Hoogmoed, 1999). Por otra parte, la entrada de energía en la agricultura de subsistencia o minifundistas en países en vías de desarrollo principalmente se asocia con el trabajo humano y animal y solo en pequeñas proporciones es consumida en fertilizantes, maquinaria, combustibles y agroquímicos. La salida absoluta (en términos de energía en la producción agrícola) del sistema de alto uso es mucho mayor que el área, pero la aplicación

baja es generalmente inferior que para los sistemas (Hoogmoed, 1999). Pimentel y Heichel (1991). Siguiendo ejemplos pasados sobre la producción de maíz en México y Estados Unidos de Norteamérica: para los sistemas de tumba rosa quema en la agricultura para producción de maíz con labor humana únicamente: la aplicación es baja 12.9, en las mismas condiciones pero usando animales de tiro: la razón de la salida es de 6.3, para la producción de maíz mecanizada: la razón de la salida es de 3.3. En los sistemas de labor humana, para la información de la labor es de 92% del total de la entrada  $2.7 \text{ GJ ha}^{-1}$ . En la de tiro animal y labor humana es 12% y la de tiro animal es de 83% del total de entrada de  $3.2 \text{ GJ ha}^{-1}$ . En los sistemas mecanizados la entrada de la labor está en orden de 0.1% para la maquinaria que gasta energía de 25%, semillas y fertilizantes 43%, pesticidas 7%, del total de la entrada es de  $19 \text{ GJ ha}^{-1}$ . Sobre figuras no se considera la energía solar. Fue observado el sistema de labor humana sería sostenible para una persona con 10 ha (el barbecho es necesario), para sistemas de tracción animal con 4 ha (usando fijadores de nitrógeno y abono verde). El sistema mecanizado no es sostenible, pero los resultados de producción que sea por lo menos 3 veces más arriba que el que se produce bajo otros sistemas (Hoogmoed, 1999). En los sistemas que ahorran energía se usan arados de cinceles que requieren menos tracción; generalmente un tractor capaz de tirar un arado de vertederas de 6 cuerpos, y 40 cm de ancho puede también tirar un cultivador de cobertura de rastrojo de 3.30 m o mayor, a una velocidad igual o un poco más rápido, de esta manera se puede trabajar mayor terreno en el mismo periodo de tiempo (Buckingham, 1976). El objetivo de esta investigación fue determinar la calidad de trabajo de implementos utilizados en sistemas de conservación así como el gasto de energía para cada sistema y determinar la retención de humedad para cada sistema con un cultivo durante la estación de lluvias.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### *A. Caracterización del sitio de estudio antes de las labores.*

Se determinaron las características físicas y químicas del sitio experimental se utilizaron los

siguientes métodos: para la textura del suelo (bouyoucos), La materia orgánica del suelo (Walkley y Blackm), El pH (potenciómetro). Para la determinación de elementos mayores del suelo agrícola se utilizaron varios métodos que son los siguientes: para el fósforo (Olsen), para el potasio (absorción atómica) y para el nitrógeno el método Kjeldahl. Todos estos con una sola repetición, y en un estrato de suelo a 30 cm.

En relación a la humedad del suelo antes de ser laborado el suelo se utilizó el método gravimétrico cuya fórmula es la siguiente:

$$P_w = \left[ \frac{PSH - PSS}{PSS} \right] * 100 \quad (1)$$

Donde:

$P_w$  = Contenido de humedad (%)

PSH = Peso de suelo húmedo (g)

PSS = Peso de suelo seco (g)

Para determinar la densidad aparente de suelo antes de ser laborado se utilizó el método de extractor de núcleos en un estrato de suelo de 30 cm. con una sola repetición, cuya fórmula es la siguiente:

$$D_a = \frac{M}{V} \quad (2)$$

Donde:

$D_a$  = Densidad aparente ( $g/cm^3$ )

$M$  = Peso de la muestra de suelo seca (g)

$V$  = Volumen del cilindro ( $cm^3$ )

Para la medición del microrelieve se tomaron datos antes y después de las labores, estas lecturas fueron hechas en cada parcela experimental con el fin de obtener datos para determinar de densidad aparente e índice de rugosidad antes y después de la labor.

#### B. Cálculo de la energía requerida por cada una de las labores.

Para hacer el cálculo de la energía consumida, se tienen que determinar las siguientes variables.

Ancho de trabajo; se tomó como referencia una estaca en una orilla de cada unidad experimental, se

midió el ancho de trabajo de cada uno de los pasos sucesivos con el implemento.

Profundidad de trabajo; se midió la distancia vertical, desde la superficie al fondo de la labor.

Velocidad de operación; se midió el tiempo para desplazarse 20 m en la parte media de la unidad experimental.

Patinaje de las ruedas

Patinaje; se midió la distancia recorrida de 10 revoluciones de las ruedas traseras, tanto con el implemento levantado como trabajando. El patinaje se calculó con la siguiente fórmula:

$$PP = \frac{A - B}{A} * 100 \quad (3)$$

Donde:

PP = Por ciento de patinaje.

$A$  = Distancia recorrida por la rueda con el Implemento levantado (m)

$B$  = Distancia recorrida por la rueda con el Implemento trabajando (m)

#### C. Consumo de combustible.

$$y = -72.8 + 21.96x - x^2 \quad (4)$$

Donde:

$Y$  = potencia del tractor a la toma de fuerza (Kw.)

$X$  = Consumo de combustible (l/h)

#### D. Aplicación de mantillo a diferentes tasas de cobertura.

Se utilizó el medidor de cobertura vegetal el cual está diseñado de un marco metálico de cuya dimensión es la siguiente: tiene  $1m^2$  de área total, la cual está dividida de  $10cm^2$  en su área, teniendo 100 cuadros que significan el 100%, cada cuadro significa el 1%.

#### E. Procedimiento para estimar el rendimiento en toneladas de materia seca por hectárea (método destructivo).

Se procedió a quitar las hojas de las plantas, la espiga de la planta, los nudos del tallo, se colocó en la bolsa de papel y se identificó, y así sucesivamente se hizo con todos los tratamientos, posteriormente se pesaron las bolsas con las hojas, tallos y espigas. Posteriormente se colocaron todas las muestras en la estufa de aire a 800c hasta lograr el peso constante. Posteriormente se hacen los cálculos para determinar la materia seca en kilogramos por hectárea.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

La investigación se localizó en el campo experimental de Buenavista (bajío), de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, cuyas coordenadas geográficas son 25° 23' latitud norte y 101° 01' longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar de 1743 m. en el Municipio de Saltillo, Coahuila. En la cuadro de 1, se muestran los datos de textura de suelo, M.O, humedad del suelo antes de trabajar, pH y los elementos mayores en el suelo (npk), de los datos se observa que es un suelo Migajón arcilloso, y medianamente rico en materia orgánica (Narro, 1987), con un pH ligeramente alcalino, y con una humedad de 19.4% en el suelo al momento de realizar las labores.

Estrato del suelo	% de Arena	% de Limo	% de arcilla	Textura del suelo	M.O del suelo	pH del suelo	N	P	K	Humedad del suelo antes de trabajar
0-30 cm.	40%	29.1 %	30.9 %	Migajón arcilloso	2.64 %	7.5	64.64 kg/ha	140 ppm	1250 ppm	19.4%

Cuadro 1. Caracterización del sitio experimental

#### A. Calidad de trabajo y gasto de energía en la operación de los implementos

Tratamiento	Humedad %	Da Des. de la labor cm. <sup>-3</sup>	Disminución de Da en %	Índice de rugosidad cm. (D.E)* Antes de la labor	Aumento de Índice de rugosidad % después de la labor
LVV	19.4	1.20	4	3.22	11
LTR	19.4	1.12	11	1.94	42
LTAR	19.4	1.08	22	2.32	43
LVM <sub>1</sub>	19.4	1.18	8	2.78	10
LVM <sub>2</sub>	19.4	1.23	7	1.38	126
LVM <sub>3</sub>	19.4	1.08	22	2.40	47
SD	19.4	1.20	4	2.37	3

\*Desviación estándar

Cuadro 2. Calidad de trabajo y consumo de energía en la operación de los implementos

De acuerdo con los datos mostrados en la cuadro 2, de calidad de trabajo y consumo energético, se puede analizar que, en el porcentaje de humedad para las siete parcelas experimentales de labranza, es relativamente igual, debido a que se presentó una precipitación pluvial antes de hacer las labores. Uno de los objetivos más importantes en las labores agrícolas con implementos es crear un ambiente óptimo en relación a la porosidad del suelo, y un indicador en este parámetro es el cambio de la densidad aparente, en la cuadro 4.2 se observan los % de la Da, y se puede decir que los valores más altos en relación a la Da en % fueron en los tratamientos de la LTAR, LVM<sub>3</sub>, es importante mencionar que por cada implemento se logró una reducción en la densidad.

Con lo que respecta a la medición del microrrelieve en relación a la rugosidad en los tratamientos LTR y LVM<sub>2</sub> (1.94 y 1.38 cm respectivamente) estos datos nos muestran que el suelo no está en buenas condiciones para retener humedad después de presentarse un evento lluvioso ya que presenta una baja rugosidad, en cambio LVV, LTAR, LVM<sub>1</sub>, LVM<sub>3</sub> y SD, tienen una rugosidad significativa con una desviación estándar de (3.22, 2.32, 2.78, 2.40 y 2.37 cm) lo que impide el escurrimiento del agua y mejora la infiltración después de un evento lluvioso, y como se señala en un trabajo realizado por (Unger y Cassel 1991).

En relación al aumento índice de rugosidad en % después de la labor en los tratamientos, LTAR, LTR, LVM<sub>2</sub> y LVM<sub>3</sub>, se observó un incremento en el %, lo que significa que el suelo lograra una mayor retención de humedad, ya que el arado fragmenta el suelo y a la vez lo volteo, mientras que el multiarado trabaja verticalmente fragmentando al suelo sin invertirlo pero con las aletas que tiene logra sacar agregados hacia la superficie. Con lo que respecta a los tratamientos LVV, LVM<sub>1</sub> y SD, el % en el índice de rugosidad fue menor ya que los implementos como la LVV ya que trabajo verticalmente y a muy poca profundidad y no volteo el suelo, en relación a la LTR ayudo a desmenuzar el suelo dejando agregados pequeños, con lo que respecta a la SD definitivamente no movió el suelo, entonces fue menor el cambio el índice de rugosidad. En relación al índice energético se observa que el LTAR consumió más energía por unidad de suelo movido, siguiendo el LVM<sub>3</sub>, esto tiene una relación con lo

que encontró Buckingham (1984), a mayor profundidad mayor consumo de energía. Siguiendo la LVM<sub>2</sub>, LVV, en relación a los que consumieron menor energía fueron, LTR, LVM<sub>1</sub> y SD, esto se debe a que la profundidad fue poca y al ancho de trabajo de cada implemento.

*B. Seguimiento de la retención de humedad en diferentes coberturas (% de coberturas de sorgo)*

Tratamiento	Profundidad de 0-5 cm. en un estrato de suelo	Profundidad de 5-15 cm. en un estrato de suelo	Profundidad de 15-25 cm. en un estrato de suelo
LVV	16.10 <b>B</b>	17.23 <b>C</b>	17.68 <b>A</b>
LTR	18.55 <b>A</b>	19.22 <b>A</b>	19.22 <b>A</b>
LTAR	17.12 <b>AB</b>	18.30 <b>ABC</b>	19.14 <b>A</b>
LVM <sub>1</sub>	16.66 <b>B</b>	17.67 <b>BC</b>	17.74 <b>A</b>
LVM <sub>2</sub>	17.44 <b>AB</b>	18.85 <b>AB</b>	18.73 <b>A</b>
LVM <sub>3</sub>	18.38 <b>A</b>	19.13 <b>A</b>	19.33 <b>A</b>
SD	16.47 <b>B</b>	16.91 <b>C</b>	17.07 <b>A</b>

Cuadro 3 Comparación de medias del factor “A” tipo de labranza.

Para el análisis de las humedades se estableció un diseño estadístico de parcelas divididas de A x B, donde A fueron los tipos de labranza (parcelas grandes), y B son los porcentajes de cobertura (0%, 40%, 70% y 100%) (parcelas chicas) donde los datos obtenidos provienen de dos repeticiones, para el seguimiento a la humedad fue en temporada de secano, donde tuvo una precipitación de 144 mm. Durante estas fechas se tomaron en total 20 lecturas del seguimiento a la humedad, del total de las lecturas se obtuvo el promedio de cada una de las parcelas chicas, con sus respectivos porcentajes de cobertura. En la cuadro 4.4 nos muestran los resultados del seguimiento a la humedad en el ciclo de siembra del sorgo forrajero. Con los resultados obtenidos en la comparación de medias del factor “A” (tipos de labranza) en un estrato de suelo de cero a cinco cm.

Se puede afirmar estadísticamente en el tratamiento de la LTR, LVM<sub>3</sub>, LTAR y LVM<sub>2</sub> no tiene diferencia significativa en la retención de humedad y que son los mejores para retener humedad, esto es debido a

que hubo cambios significativos en el índice de rugosidad y a que dejó los agregados de mayor tamaño, mientras que en el tratamiento de la LVM<sub>1</sub>, LVV y DS no existe diferencia significativa, esto es debido a que hubo un menor % en el índice de rugosidad. Mientras que, en un perfil del suelo de cinco a quince cm.

El seguimiento a la humedad se comportaba de la siguiente manera, la LVM<sub>3</sub> y LTR siguen siendo los mejores en alcanzar los mayores valores en la retención de la humedad descriptivamente. En ese mismo seguimiento, encontramos que la LVM<sub>2</sub>, LVM<sub>1</sub> y LTAR también no tienen cambios significativos esto se debe a que dejaron los agregados grandes. Mientras que la SD y LVM<sub>1</sub>, sigue obteniendo valores menores y que estadísticamente son los que menos retuvieron humedad, esto se le atribuye a que dejaron los agregados de menor tamaño. En la mismo cuadro 4.4 tomando muestras de quince a veinticinco cm, en un estrato de suelo, la humedad se comportó estadísticamente igual, con los diferentes tipos de labranzas, esto se debe a que a esa profundidad ya no hay pérdidas de humedad, y por lo tanto, las capas superiores del suelo y el mantillo aplicado tienden a proteger el suelo para que no haya pérdidas de humedad.

Trata	I. E. (ml m <sup>-3</sup> )	Prof. 0-5 cm. %H.	Prof. 5-15 cm. %H.	Prof. 15-25 cm. %H.	relación entre humedad y consumo de combustible			Relación entre el consumo de combustible y rendimiento	
LVV	10.26	16.10	17.23	17.68	0.63	0.59	0.58	5.51 ton	1.86
LTR	9.26	18.55	19.22	19.22	0.49	0.48	0.48	5.40 ton	1.71
LTAR	16.87	17.12	18.30	19.14	0.98	0.92	0.88	5.46 ton	3.08
LVM <sub>1</sub>	8.26	16.66	17.67	17.74	0.49	0.46	0.46	6.16 ton	1.34
LVM <sub>2</sub>	12.60	17.44	18.85	18.73	0.72	0.66	0.67	7.84 ton	1.60
LVM <sub>3</sub>	15.37	18.38	19.13	19.33	0.83	0.80	0.79	9.87 ton	1.50
SD	7.30	16.47	16.91	17.07	0.44	0.43	0.42	7.87 ton	0.92

Cuadro 4, Relación entre el porcentaje de humedad y consumo de combustible y rendimiento

*C. Relación entre el porcentaje de humedad y consumo de combustible*

En el cuadro 4 se observan los valores de la relación de 1:1 entre el % de humedad y en consumo de combustible (ml m<sup>-3</sup>) y producción de materia seca en

toneladas por hectárea, los sistemas de labranza vertical (LVV, SD, LVM<sub>1,2,3</sub>) tienen una mejor relación entre el porcentaje de humedad y el consumo de energía, pero a la vez esto también se demuestra que tienen una relación en la producción de materia seca en toneladas por hectárea en comparación con el sistema tradicional (LTA y LTAR), por lo tanto, la labranza vertical podría reemplazar al sistema tradicional, ya que presenta una alternativa para la preparación de los suelos en zonas semiáridas.

#### IV. CONCLUSIONES.

En el tratamiento de la labranza vertical (LVV, SD y LVM<sub>1,2,3</sub>) mejoran las condiciones físicas del suelo como son, una reducción en la densidad aparente, fractura el suelo sin invertirlo, e incrementa en índice de rugosidad y ahorra consumo de energía, en comparación con los implementos utilizados en el sistema tradicional. En relación con la captación de humedad, se observó que los tratamientos se desempeñaron como se sigue: en un perfil del suelo de cero a cinco cm, la LTR, LVM<sub>3</sub>, LVM<sub>2</sub> y LTAR, cinco a quince cm de profundidad se observó que la LTR, LVM<sub>2</sub> y LVM<sub>3</sub>, fueron los mejores, por otro lado a una profundidad de quince a veinticinco cm. todas las parcelas no tuvieron diferencia significativa. Sin embargo se recomienda hacer análisis de por cada fecha de muestreo para observar las diferencias entre las humedades con sus respectivos porcentajes de cobertura. En relación a la producción de materia seca en ton ha<sup>-1</sup>, en las parcelas experimentales se observó, que la LVM<sub>3</sub>, supero con el 82% de rendimiento de materia seca en ton ha<sup>-1</sup> en comparación con el sistema tradicional. Esto tiene una relación ya que también retuvo más humedad en comparación con las demás parcelas experimentales. Con lo que respecta a la parcela trabajada con la LVV no existe diferencia significativa con la parcela experimental trabajada con la LTR, relacionada a la producción de materia seca en ton ha<sup>-1</sup>. También se observó que la mejor relación entre el porcentaje de humedad conservada, combustible gastado y rendimiento de materia seca la siembra directa fue mejor. Los implementos que realizan la labranza vertical presentan una alternativa para zonas semiáridas, ya que ahorran energía,

mejoran algunas propiedades físicas de los suelos, ayudan a conservar la humedad y por lo tanto se incrementa la producción.

#### V. LITERATURA CITADA

Buckingham F. 1984. Fundamentos de funcionamiento de maquinaria (FMO), serie cultivo. Deere & Company Service Training. Moline, Illinois. EEUU.

Crossley P., Kilgour J. 1983. Small farm mechanization for developing countries. Chichester. John Wiley, pp. 221-224.

Hoogmoed W. 1999. Tillage for soil and water conservation in the semi-arid tropics. Wageningen Agricultural University. The Netherlands.

Pimentel, D. and Heichel, 1991. Energy efficiency and sustainability of farming system. In: R. Lal and F.J. Pierce (eds), soil management for sustainability. Soil and water conservation society, Ankeny, Iowa, pp. 113-123.

Norma Mexicana para arados. 2002. Manual de prueba y evaluación de arados. CENEMA. Texcoco, Estado de México.

Smith D. W., Sims B. G. 1990. Procedimiento para la evaluación de implementos para labranza primaria. Evaluación técnica de equipos para pequeños productores. Manual teórico-práctico. Programa de cooperación técnica México-Gran Bretaña.

Unger P.W. and D.K. Cassel. 1991. Tillage implements disturbance effects on soil properties related to soil and water conservation, a literature review. Soil Tillage Res., 19: 363-382.