

Determinación de las fuerzas aplicadas a la labranza vibratoria inducida a diferentes amplitudes de oscilación

Determination of forces applied to vibration tillage induced at different oscillation amplitudes

Gilbert Fresh López-López^{1*}, Juan Antonio López-López¹, Santos Gabriel Campos-Magaña¹,
Martin Cadena-Zapata¹, Genaro Demuner-Molina¹, Mario Alberto Méndez-Dorado¹

¹Departamento de Maquinaria Agrícola, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923. Buenavista, CP 25315. Saltillo, Coahuila, México. Correo electrónico: gilbert.flopezl@uaaan.edu.mx [*Autor responsable]

RESUMEN

El propósito es evaluar el efecto de diferentes amplitudes de oscilación sobre la magnitud de la fuerza de tiro usando labranza vibratoria inducida en condiciones de campo. Se realizaron los arreglos de las amplitudes de oscilación, que son representados por ejes excéntricos en el arado vibratorio, y se midió la velocidad angular del mecanismo mediante un tacómetro (DT-2234C+). En campo se evaluaron cuatro repeticiones para cuatro tratamientos y un testigo, en los cuales se midieron las siguientes variables: fuerza de tiro (Fx), penetración (Fy) y torque (T); para el accionamiento de la vibración del cincel se utilizó una válvula reguladora de flujo a 50% (4 Hz). En cada prueba se realizaron líneas de 40 m de longitud y se registraron 2000 datos a una frecuencia de registro de 20 Hz, con separación de un metro entre cada línea de prueba, para evitar los traslapes de disturbación de suelo. Se utilizó un tractor John Deere 6403 tracción sencilla de 105 hp con una velocidad de avance 2.8 km h⁻¹ y un sistema de adquisición de datos LookBook 360. El diseño experimental, que fue completamente al azar y se llevó a cabo en el software Minitab, dio como resultado que los ejes son estadísticamente iguales, por lo que se concluyó que, de los cuatro ejes evaluados, el eje con amplitud de 44.5 mm es el que demanda menor fuerza de tiro, esto sin tomar en cuenta el eje testigo con amplitud de oscilación de 50 mm, el cual ejerce una menor fuerza de tiro respecto a los otros tratamientos.

Palabras clave: amplitud de oscilación, arado vibratorio, fuerza de tiro.

ABSTRACT

The purpose is to evaluate the effect of different oscillation amplitudes on the magnitude of pulling force using induced vibratory tillage under field condition. Arrangements of the oscillation amplitudes that are represented by eccentric shafts in the vibrating plow were made and the angular velocity of the mechanism was measured using a tachometer (DT-2234C+). In the field, four replicates for four treatments and a control evaluated, obtaining 20 replicates in which the variables pull force (Fx), penetration (Fy) and torque (T) were measured, using a flow regulating valve at 50% (4 Hz) to drive the vibration of the chisel. In each test, 40 m long lines made recording 2000 data at a recording frequency of 20 Hz, with one-meter separation between each test line to avoid soil disturbance overlaps. A 105 hp John Deere 6403 single traction tractor with a groundspeed of 2.8 km h⁻¹ and a LookBook 360 data acquisition system used. The completely randomized experimental design performed in Minitab software resulting in statistically equal axes. Therefore, it concluded that of the four axis evaluated, the axis with an amplitude of 44.5 mm is the one that requires the least pulling force in this study. The above without taking into account our control axis with an oscillation amplitude of 50 mm, which exerts a lower pulling force than the other treatments.

Keywords: amplitude for vibration, pulling force, vibratory plow.

INTRODUCCIÓN

Debido a que la labranza provoca cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas, y a que en las últimas décadas se ha incorporado la labranza vertical con el fin de disminuir el impacto sobre el medio ambiente, especialmente en el suelo, este proceso se ha convertido en una actividad de gran importancia, por lo que es fundamental conocer los parámetros operativos de los implementos de labranza y su incidencia en el suelo (Camacho y Rodríguez, 2007). La FAO (2000) menciona que la labranza vertical se refiere a un sistema donde toda la tierra está preparada con implementos que no invierten el suelo y causan poca com-

pactación, debido a que queda normalmente con una cobertura de rastrojo de más de 30% sobre la superficie, ya que los implementos que más comúnmente se utilizan son: el arado de cincel, la cultivadora de campo y el vibro cultivador. Por otra parte, esta actividad agrícola es la que demanda la mayor cantidad de combustible fósil (IDAE, 2006); además, es importante señalar que la preparación de los suelos debe favorecer la producción de los cultivos y mantener su calidad.

De acuerdo con Aluko y Seig (2000), la movilización del suelo es causada por cizallamiento donde las partículas se someten a compresión por tensión, por lo que el suelo se agrieta, situación indeseada, ya que el suelo sólo se deforma en la superficie de contacto con

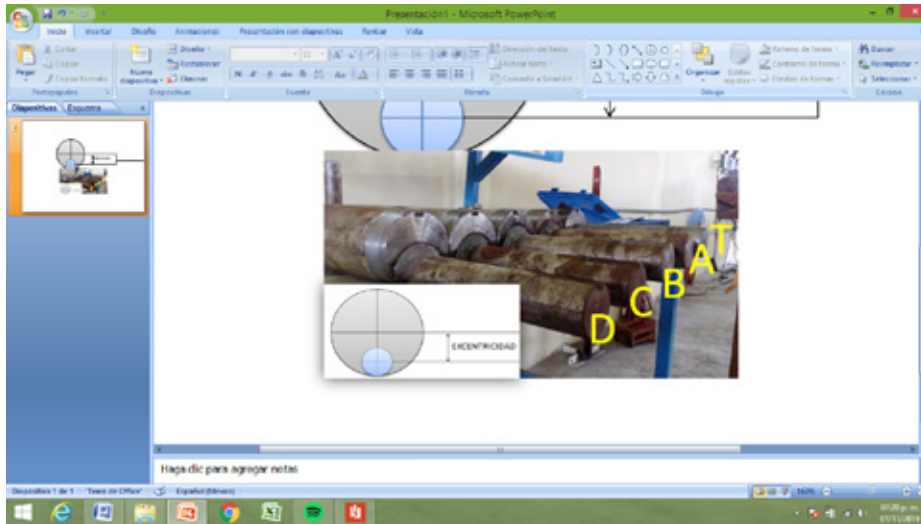


Figura 1. Ejes excéntricos.

la herramienta, lo cual puede conllevar a la compactación. Por otra parte, McKyes (1985) describe que para el trabajo con cincales existe una profundidad crítica, en la cual no hay remoción lateral de suelo, y que esta depende del ancho de trabajo del implemento y de su ángulo de ataque, así como de la densidad y contenido de humedad del suelo. Para trabajar a profundidades mayores a la profundidad crítica, es recomendable el uso de alas laterales acopladas a los cincales en su punta, lo cual reduce también la resistencia específica y favorece el ancho de trabajo y la eficiencia de campo.

Raper y Bergtold (2007) mencionan que se puede hacer mucho para disminuir el costo de las operaciones con labranza vertical, vía a reducción de uso de energía, seleccionando la adecuada geometría de los implementos, la apropiada profundidad de trabajo y humedad conveniente en el perfil del suelo. Diferentes estudios realizados muestran que, en el manejo adecuado de una labor agrícola, puede conseguirse una disminución en el consumo de combustible de hasta 30% (IDAE, 2006).

Los escarificadores son implementos de labranza vertical que han sido de gran utilidad en las tecnologías actuales de preparación de suelos, los cuales pueden ser de brazos rígidos, semirrígidos o flexibles y vibratorios (Leyva, 2009). Marín *et al.* (2011) compararon escarificadores rígidos, flexibles y vibratorios, encontrando que el modo de vibración es el único que contribuye a la variabilidad de la resistencia de tracción. No hallaron contribuciones de la velocidad en la variabilidad de la resistencia de tracción para un rango de velocidades de trabajo de 1.044 a 3.96 km h⁻¹, y que el empleo de vibraciones forzadas durante el escarificado profundo del suelo posibilite una reducción de 9% de la resistencia de tracción demandada, cuando se emplean vibraciones libres.

Gun y Tramontini, 1955; Sakai *et al.*, 1993; Bandalan *et al.*, 1999, citados por Shahgoli *et al.* (2010), han reportado que la oscilación inducida de una herramienta de labranza en las direcciones longitudinal y/o vertical puede disminuir significativamente los requerimientos de fuerza de tiro. La frecuencia oscilatoria, amplitud de oscilación, ángulo de oscilación, velocidad de avance del tractor, diseño de la herramienta y propiedades del suelo son factores importantes que afectan el funcionamiento de la herramienta oscilatoria. El propósito de este trabajo es evaluar el efecto de diferentes amplitudes de oscilación sobre la magnitud de la fuerza de tiro, usando labranza vibratoria inducida en condiciones de campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, El Bajío, ubicado 25° 21.52" N y 101° 50" O, a 1740.5 msnm, con un suelo franco arcilloso; se evaluaron cuatro tratamientos (ejes), más un tratamiento testigo (Figura 1), los cuales proporcionaron las amplitudes de oscilación en el equipo: eje A 44.5, B 47.7, C 54, D 57.2 y testigo 50 mm.

Con cuatro repeticiones (líneas) para cada uno de los tratamientos, se midieron las variables fuerza de tiro (F_x), penetración (F_y) y torque (T) haciendo uso de una válvula reguladora de flujo para el accionamiento de la vibración del cincel. Para la adquisición de datos se utilizó un tractor John Deere 6403, tracción sencilla de 105 hp con una velocidad de avance de 2.8 km h⁻¹ y un sistema de adquisición de datos LogokBook 360. En cada prueba se realizaron líneas de 40 m de longitud

con profundidad de 0.30 m registrando 2000 datos a 20 Hz, dejando un metro entre cada línea de prueba para evitar los traslapes de disturbación de suelo.

Para realizar el experimento, se requirió medir la velocidad angular con un tacómetro DT-2234C+ de la empresa Barry Century, con el propósito de comparar los resultados de un equipo desarrollado con cuatro imanes a 90 grados por revolución, montado en la flecha donde se encuentra la biela que transmite la potencia al cincel oscilatorio, el cual interrumpe la señal del sensor magnético tipo Hall y genera las señales digitales, un display JHD162A en el que se visualiza la frecuencia a la que está girando la flecha. Conocer dicha velocidad angular, arroja la apertura de la válvula reguladora de flujo.

El análisis del diseño experimental completamente al azar, lo explica el modelo que se observa en la ecuación.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, t; \quad j = 1, 2, \dots, r$$

Donde:

Y_{ij} : Denota la j -ésima medición del tratamiento i -ésimo

μ : Media general

τ_i : Efecto del i -ésimo tratamiento

ε_{ij} : Error experimental de la j -ésima medición del i -ésimo tratamiento

Este diseño se realizó en el software Minitab, el cual ayudó a conocer si existe diferencia significativa entre tratamientos con un $p < 0.05$ con una confiabilidad de 95 por ciento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La medición con el tacómetro (DT-2234C+) registró 238.3 RPM, para el flujo hidráulico de paso 5 y para el flujo de paso 10 fue de 524.41 rpm; en ella se pudo corroborar que se obtuvieron las mismas velocidades con el medidor de pulsos, frecuencia y un sensor magnético (Figura 2) que las del equipo de Alvarado (2016). A partir de estos resultados, se tomó la decisión de colocar a un flujo de 50% (4 Hz) para el accionamiento de la vibración del cincel.

En el diseño experimental se tomaron como tratamientos los ejes A, B, C, D y Testigo, que se refieren a las amplitudes de trabajo para el subsolador vibratorio inducido con cuatro réplicas, que se refieren a las líneas de trabajo en una parcela de 40 x 20 m, en la cual se midieron las variables fuerza de tiro (F_x), penetración (F_y) y torque (T). En la Figura 3 se observa la recolección de datos.

Como referencia (mm), en la Figura 4 se observan las gráficas de la fuerza de tiro para las diferentes ampli-



a) Tarjeta, medidor de pulsos y frecuencia.



b) Sensor magnético.



c) Tacómetro DT-2234C+



d) Cintilla reflejante.

Figura 2. Componentes para medir la velocidad angular.



Figura 3. Recolección de datos.

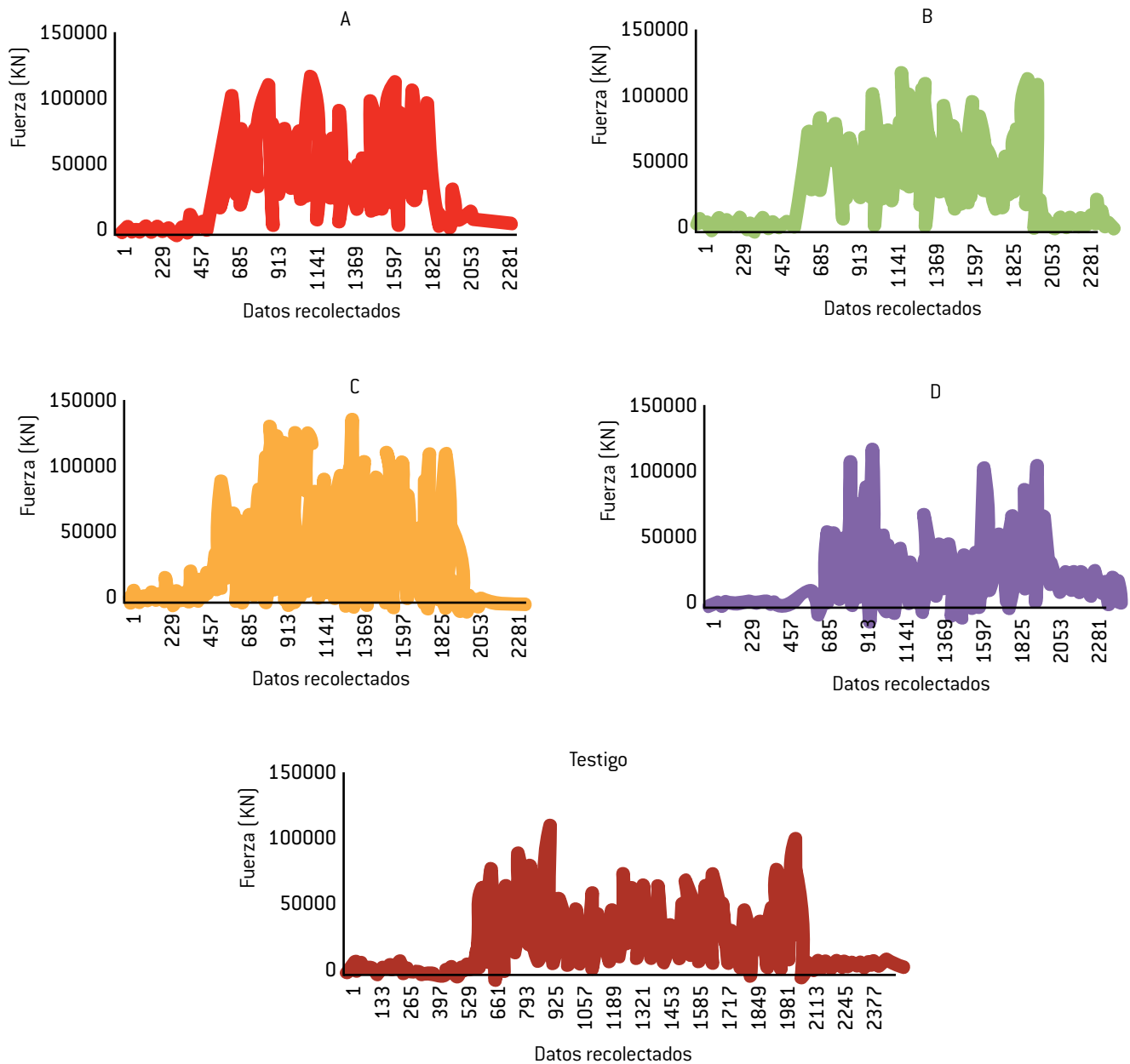


Figura 4. Graficas de las fuerzas de tiro.

Cuadro 1. Medias para la fuerza de tiro, penetración y torque.

Eje	Fx (kN)	Fy (kN)	T (kN)	Px (kW)	Py (kW)	PT (kW)
A	4.59	5.57	2.76	3.63	4.4	2.18
B	7.03	2.07	3.46	5.56	1.63	2.73
C	6.56	5.27	3.12	5.19	4.17	2.46
D	5.43	3.22	2.88	4.29	2.54	2.27
Testigo	4.11	1.78	2.32	3.25	1.40	1.83

Amplitudes A: 44.5 mm; B: 47.7 mm; C: 54 mm; D: 57 mm y Testigo. 50 mm.

Cuadro 2. Análisis de varianza efecto de amplitud de oscilación en fuerza de tiro.

Fuente	DF	Adj SS	Adj MS	F-Valor	P-Valor
Ejes (mm)	4	2,923	730.7	2.86	0.06
Error	15	3,832	255.5		
Total	19	6,755			

Código de significancia: 0 '****'
0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1

Cuadro 3. Análisis múltiple de medias con método Tukey.

Tratamiento	N	Media	Grupo
B	4	50.31	A
C	4	44.7	A
A	4	31.35	A
A	4	26.37	A
Testigo	4	17.13	A

95% de confiabilidad

tudes: A: 44.5; B: 47.7; C: 54; D: 57 y un Testigo; en la gráfica C se puede observar que la fuerza presenta mayor magnitud.

En el Cuadro 1 se muestran los valores promedios obtenidos de los cuatro ejes para la fuerza de tiro (Fx), fuerza de penetración (Fy) y torque (T). El valor de velocidad de trabajo para la obtención de la potencia es 2.8 km/h, con frecuencia (4 Hz) 25.13 rad/s, 238.3 rpm para el torque, a una misma profundidad de trabajo (0.30 m).

Para el análisis de varianza se plantea la hipótesis nula (H_0) que los tratamientos (ejes de amplitud de oscilación) tienen un efecto en la fuerza de tiro, pero al observar el Cuadro 2, el análisis de varianza arroja un P-Valor mayor a 0.05 ($p < 0.05$), lo que indica que, estadísticamente, los tratamientos son insignificantes, por lo tanto, se rechaza la H_0 . Estas amplitudes de oscilación indican que no tienen un efecto de reducción de fuerza de tiro. Es importante mencionar que, para que tuvieran

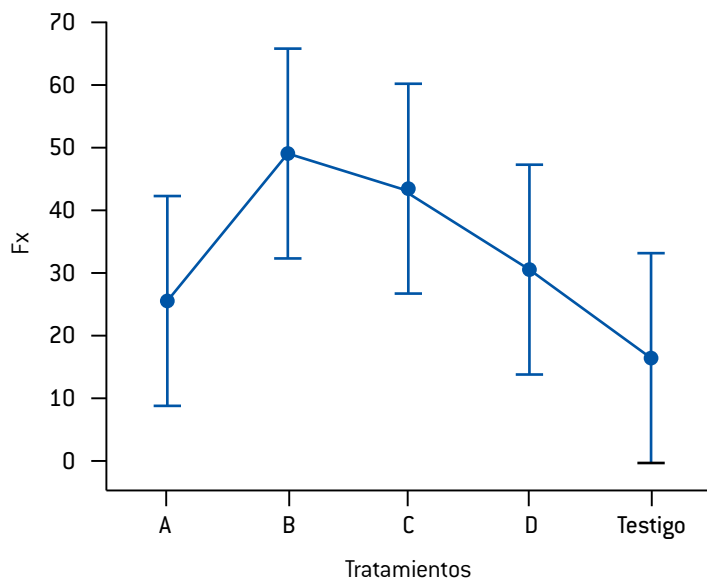


Figura 5. Gráfica de intervalos de Fx vs Tratamientos.

una tendencia normal, los datos se transformaron al elevarlos al cuadrado.

En el Cuadro 3 se observa el análisis múltiple de medias con el método de Tukey y una confiabilidad de 95%, lo que confirma que los tratamientos pertenecen al mismo grupo estadístico, y que no hay efectos positivos o negativos.

En la Figura 5 se aprecia el comportamiento de las fuerzas de tiro requeridas para la profundidad de 0.30 m; en ella se observa que el eje B con amplitud de oscilación de 47.7 mm, es el que más demandó fuerza de tiro en estas pruebas; también se aprecia la desviación que tienen los tratamientos.

CONCLUSIONES

Estadísticamente los cuatro ejes evaluados son iguales, por lo tanto, se descartan las amplitudes evaluadas en este estudio debido a que no generan ningún efecto de reducción a la fuerza de tiro.

LITERATURA CITADA

- ALUKO, O. B. and D. A. Seig. 2000. An experimental investigation of the characteristics of and conditions for brittle fracture in two-dimensional soil cutting. *Soil Tillage Res.* 57:143-157.
- ANDRADE, P., Rosa, U.A., Upadhyaya, S.K., Jenkins, B.M., Aguera, J.Alvarado. 2016. Evaluación de un equipo de laboreo variable con cincel vibratorio, para la reducción de consumo de energía. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Coahuila. México.
- FAO. 2000. Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO. Roma, Italia, p. 204.
- IDAE. 2006. Ahorro, eficiencia energética y sistemas de laboreo agrícola. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Madrid, España. 2ª Edición corregida. Kheiralla, A.F., Yahya, A., Zohadie, M. and Ishak, W. 2003. Design and Development of a Three-point Auto Hitch Dynamometer for an Agricultural Tractor. *AJSTD*, 20(3 and 4): 271-288.
- LEYVA, O. 2009. "Fundamentación de una Tecnología para Laboreo Mínimo de Suelos Vertisoles Basada en la Aplicación de una Máquina Compleja en Caña de Azúcar". Tesis, Doctor en Ciencias, Universidad Agraria de La Habana. 143p. La Habana, Cuba.
- MARÍN, L., O. Leyva., y Suárez, M. 2011. "Efecto del Modo de Vibración y la Velocidad de Trabajo en la Disminución de la Resistencia Traccional de los Órganos Escarificadores Vibratorios". *Ciencias Técnicas Agropecuarias* 20(3) 57-62. Cuba.
- McKYES, E. 1985. *Soil Cutting and Tillage*. Elsevier, Amsterdam, 217 p. (Developments in Agricultural Engineering No 7).
- RAPER, R. L. and J. S. y Bergtold. 2007. In row subsoiling: A review and suggestions for reducing cost of this conservation tillage operation. *Appl. Eng. Agric.* 23: 463-471.
- SHAHGOLI, G., J. Fielke., J. Desbiolles., y C. Saunders. 2010. "Optimising Oscillation Frequency in Oscillatory Tillage", *Soil & Tillage Research*, 106.202-210 pp.
- TAMAYO, J. H. y G. A. Rodríguez. 2007. Evaluación de implementos de labranza a diferentes velocidades de operación y contenidos de agua del suelo. *Agricultura Técnica* 67(1): 60-67.