



Análisis de los sistemas de fuerza surgidos durante la operación del Arado de palo tradicional mexicano

Force systems analysis from the mexican wooden ard work

M.C. Fidel Diego Nava¹, Dr.C. Miguel Herrera Suárez^{II}, Dr.C. Armando Eloy García de la Figal Costales^{III},
M.C. José Rodolfo Martínez y Cárdenas^I

^I CIIDIR Unidad Oaxaca IPN, Xoxocotlán, Oaxaca, México.

^{II} Universidad Central de Las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

^{III} Universidad Agraria de La Habana, Facultad de Ciencias Técnicas, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN. El uso del arado de madera con yunta de bueyes está muy extendido en las milpas de los Valles Centrales de Oaxaca. Los boyeros frecuentemente tienen problemas con la operación de dicho arado puesto que este tiene problemas de inestabilidad durante el surcado. Por tal razón se tomaron fotos de la yunta y el boyero durante el surcado para observar las maniobras del boyero durante el surcado. Por esta razón se tomaron fotos en el transcurso del surcado. Enseguida estos datos fueron analizados con el fin de establecer los diagramas de cuerpo libre del arado. Luego se obtuvieron cuatro diagramas de cuerpo libre y sus ecuaciones de equilibrio estático. Después el arado de palo fue evaluado para obtener la demanda de tiro en la labranza y así relacionar la fuerza de tiro real y la calculada. Los resultados mostraron la alta variabilidad de las fuerzas de tiro en ambos casos. Finalmente se encontró que la maniobra del boyero influye decisivamente en los altos y bajos valores de la demanda de tiro.

Palabras clave: Fuerzas, equilibrio, estabilidad, manejo.

ABSTRACT. The use of wooden plough with oxen is widespread in the milpas of Central Valleys of Oaxaca. The ploughmen often have problems with the operation of this plough since this has problems of instability during the furrowing. For this reason, the photos were taken during the furrowing with the purpose of watching the ploughman handling during tillage. Then, these data were analyzed for establishing the free body diagrams of the plough. Therefore, it was got four free body diagrams and their equations of static equilibrium. Consequently, the wooden plough was tested for obtaining the draught force through tillage and so doing the relation between actual and computed draught forces. The results show the high draught forces variability in the two circumstances. Finally, it is found that the ploughman handling is related to the high and low draught forces.

Keywords: Forces, equilibrium, stability, handling.

INTRODUCCIÓN

La tracción animal está muy difundida en la agricultura mexicana donde alcanza un grado de utilización del 32,1% de la superficie cultivada (Cruz *et al.*, 2004). En la región de los Valles Centrales de Oaxaca predomina el sistema de explotación agrícola denominado milpa cuyas características no es exterminar las malezas puesto que muchas de ellas son utilizadas para la alimentación humana, animal, o como medicina (Mera *et al.*, 2003; Crocker *et al.*, 2004; Good y Barrientos,

2004; Vázquez-García *et al.*, 2004; Blanckaert *et al.*, 2007). La característica principal de este sistema es su adecuación a las condiciones locales de clima, suelo y cultivos, sin forzar y agotar al agroecosistema (Lambert *et al.*, 1984; González y Del Amo, 1999; Pulido y Bocco, 2003; Vázquez *et al.*, 2004; Barrera *et al.*, 2006; Martín *et al.*, 2010). De acuerdo a estudios hechos anteriormente la mayoría de las parcelas de esta región tienen un tamaño que va de 0,66 a 1,88 ha (Castillo, 1990)¹.

¹ CASTILLO, T.: Los sistemas agrícolas de los Valles Centrales de Oaxaca, 174pp., Tesis en opción del título de Maestro en Ciencias, Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados Motecillo, Montecillo, México, 1990.

Antes de la expansión colonial europea, el arado de madera de tracción animal se utilizaba para la labranza desde España y Marruecos hasta Etiopía, India, Indonesia, China y Japón; pero no se había introducido en América y Oceanía (Hopfen, 1969; Starkey, 1989). En México este arado fue introducido por los españoles en 1524 (Romero, 2006). Existen dos tipos de arados, los simétricos y los asimétricos. Durante siglos se fabricaron con madera, excepto la reja y la cuchilla que abren el suelo (Stresser, 1988). El arado que se utiliza en los Valles Centrales de Oaxaca es simétrico, de una sola

mancera y está conformado por cinco partes, las cuales son: (1) la reja, generalmente hecha de hierro, que abre el suelo; (2) la cabeza de madera que se desliza en el fondo del surco y que lleva la reja fijada en su extremidad anterior; (3) la manquera de madera que el labriego acciona con su mano para mantener el arado en su posición y dirigirlo; (4) el timón de madera es la pieza recta que une al arado con la yunta y transmite la fuerza de los animales a la herramienta de labranza; y (5) el tornillo de acero que une la cabeza y el timón, y mantiene el ángulo deseado entre ellos (Figura 1).

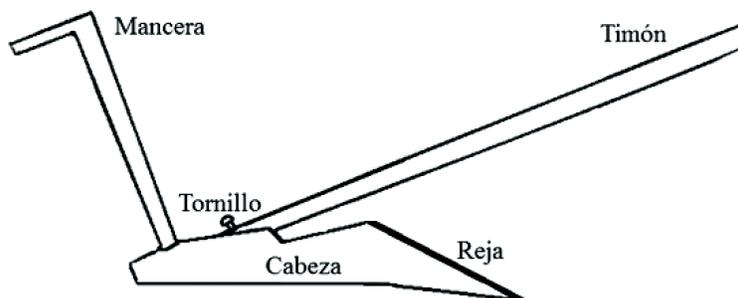


FIGURA 1. Arado de madera de los Valles Centrales de Oaxaca.

Durante la labranza el boyero realiza varias maniobras con las manos y los pies sobre el arado para mantener una profundidad uniforme de penetración de la reja y la dirección de avance en las diversas operaciones, con el fin de garantizar la calidad del laboreo de la tierra. En cada maniobra se ejerce un sistema de fuerzas diferente sobre el arado, cuyo efecto puede elevar la demanda energética de la labor y originar cansancio excesivo tanto en el boyero como en los animales, impidiéndoles labrar adecuadamente la tierra. Se buscó información sobre este aspecto en trabajos de investigación sobre aperos de tracción animal pero no se encontró ninguna referencia al análisis de la variación de los sistemas de fuerza sobre el apero por efecto de las maniobras del boyero y su consecuencia sobre la demanda de tiro (Gebresenbet, 1994; Gebregziabher *et al.*, 2007). De ahí la importancia de realizar el presente trabajo que tiene por objetivo, analizar los esfuerzos que surgen durante las maniobras ejercidas por el boyero sobre el arado de palo tradicional mexicano, durante la labranza.

MÉTODOS

La investigación se realizó en dos etapas, en la primera se hizo una entrevista no estructurada a los boyeros, con el objetivo de esclarecer las distintas maniobras que realizan estos durante la operación del arado tradicional de madera mexicana.

En la segunda etapa se determinaron experimentalmente las fuerzas actuantes sobre el arado durante su operación, y se tomaron evidencias fotográficas de las maniobras que realiza el boyero durante la aradura. En dicha etapa se emplearon las siguientes metodologías:

Caracterización de la parcela de prueba. En este caso se seleccionó una parcela de 60,0 m x 150,0 m, con topografía llana, en la zona de Rancho Quemado ubicada en el municipio Cuilapam, Valles Centrales de Oaxaca, México. Se le determinó la textura según la norma NC 20: 1999, que establece la metodología, los equipos y accesorios para su realización. A partir de la composición granulométrica del suelo se realiza su clasificación textural, mediante el empleo del triángulo textural del Instituto de Suelos de la Academia de Ciencias de Cuba (Cairo Cairo y Quintero, 1980). La determinación de la humedad del suelo se realizó según los procedimientos de la NC 67:2000 (NC 67:2000, 2000) y densidad de acuerdo a la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (NOM-

021-REC/NAT-2000, 2002), que establece los procedimientos, así como los equipos y accesorios a emplear para la obtención de esta propiedad con fundamento en métodos gravimétricos.

Metodología para la determinación experimental de los esfuerzos durante la labranza. La parcela se labró con una yunta de bueyes de dos años de trabajo, operada con un boyero experimentado. Se empleó un arado de palo tradicional mexicano del tipo dental (Figura 2a). Se labraron los surcos en toda la longitud de la parcela, para registrar la fuerza de tiro ejercida por los animales, durante las distintas operaciones que realizó el boyero. La profundidad promedio del surco fue de 0,18 m. La velocidad de trabajo se determinó por medio del cronometraje del tiempo recorrido en una longitud de 50 m del surco, con un cronómetro manual marca Citizen.

Para la medición la fuerza de tiro de los animales se empleó una celda de carga del tipo S, modelo TCCA-750 marca Omega con capacidad máxima de 3 340 N, la cual se acopló al pértigo y la cabeza del arado por medio de uniones atornilladas (Figura 2b). Los datos fueron registrados y almacenados con un sistema de adquisición de datos (SAD) portable, marca Omega, modelo OM-DAQPRO-5300 (Figura 2), el cual se encarga de adquirir las lecturas de voltajes, amplificarlas y almacenarlas con una velocidad máxima de 1 muestra/s.

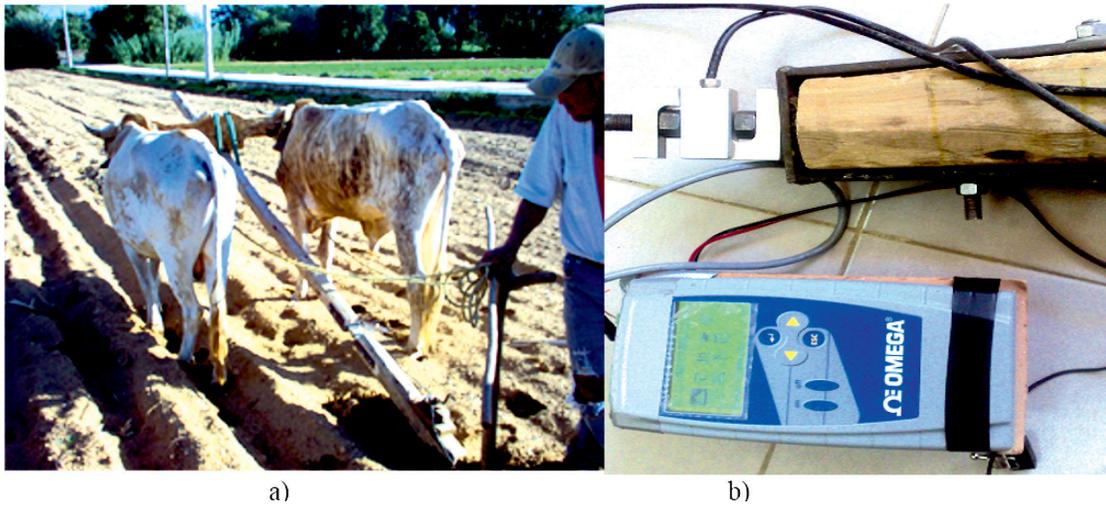


FIGURA 2. Medición de fuerza de tiro del arado.

Metodología para la observación de las maniobras de los boyeros. Para dejar evidencias gráficas de las operaciones realizadas por los boyeros durante la labranza, se empleó una cámara comercial marca Samsung de 14,2 MPix de resolución para la toma de fotografías de las maniobras del boyero durante el surcado. Finalizado el surcado, se tomaron las muestras de profundidad de surcado. Posteriormente se analizaron todas las fotos para identificar las maniobras y seleccionar las muestras gráficas representativas que sirvieran para elaborar los diagramas de cuerpo libre (DCL) del arado de los casos seleccionados. Enseguida se procedió a la formulación de las ecuaciones de equilibrio estático para cada caso seleccionado.

Metodología del registro de las maniobras que realiza el boyero durante la aradura. El análisis de las operaciones mostró, que el boyero tuvo que maniobrar frecuentemente para mantener el equilibrio y la profundidad de trabajo del arado, evidenciándose que se realizan cuatro maniobras fundamentales, siendo:

Trabajo libre del arado, cuando el boyero no ejerce ninguna fuerza sobre el mango de la manquera, solo toca con la mano para no perder el contacto con el apero, pues el arado trabaja en equilibrio. Se nota un paso normal de la yunta (Figura 3).

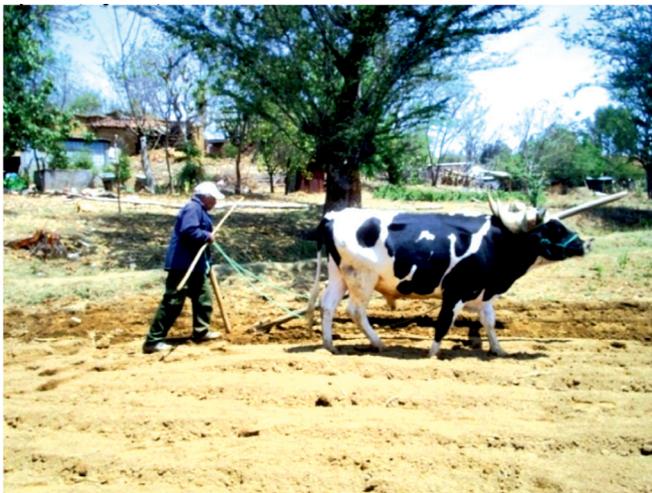


FIGURA 3. Trabajo libre del arado.

En este caso las fuerzas que actúan sobre el arado se deben a la acción de la fuerza de tiro ejercida por la yunta de bueyes (F_t), para vencer la resistencia (R_{zx}), que opone el suelo a ser cortado por el arado (Figura 4), así como el peso propio del arado (G) que actúa sobre el centro de gravedad del mismo.

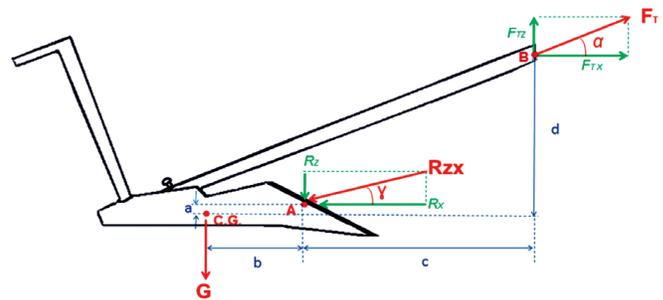


FIGURA 4. Diagrama de cuerpo libre del Arado para el caso 1.

A partir del sistema de fuerzas definido en el DCL y con la realización de su sumatoria en el eje x y z , se puede establecer, que:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{tx} - R_x = 0 \quad (1)$$

Despejando F_{tx} de la ecuación (1) se obtiene, que:

$$F_{tx} = R_x \quad (2)$$

$$\sum F_z = 0$$

$$F_{tz} - R_z - G = 0 \quad (3)$$

Despejando F_{tz} de la ecuación (3), se obtiene:

$$F_{tz} = R_z + G \quad (4)$$

Finalmente si se realiza la suma de momentos $\sum M_{cg} = 0$, se obtiene, que:

$$F_{tz} \cdot (b + c) + R_x \cdot a - F_{tx} \cdot d - R_z \cdot b = 0 \quad (5)$$

donde: a , es la distancia entre la línea de acción de R_x y el centro de gravedad cg ; b , es la distancia entre la línea de acción de R_z y cg ; c , es la distancia entre la línea de acción de F_{tz} y el punto de aplicación de R_{zx} ; A y d son la distancia entre la línea de acción de F_{tx} y el punto A .

Despejando los momentos producidos por las componentes de F_t , se obtiene la ecuación de equilibrio de las fuerzas durante el trabajo libre del arado.

$$F_{tz} \cdot (b + c) - F_{tx} \cdot d = R_z \cdot b - R_x \cdot a \quad (6)$$

Aplicación de una carga con la mano del boyero sobre la parte superior de la manquera. El boyero ejerce una fuerza con la mano sobre la parte superior de la manquera, para equilibrar las fuerzas de resistencia generadas por suelo y la fuerza de tiro de los animales (Figura 5). En este caso se evidencia un incremento de la resistencia del suelo, con respecto al caso anterior.



FIGURA 5. Aplicación de carga en la parte superior de la manquera.

En el caso 2, se adiciona la fuerza ejercida por la mano del boyero (F_m), Figura 6.

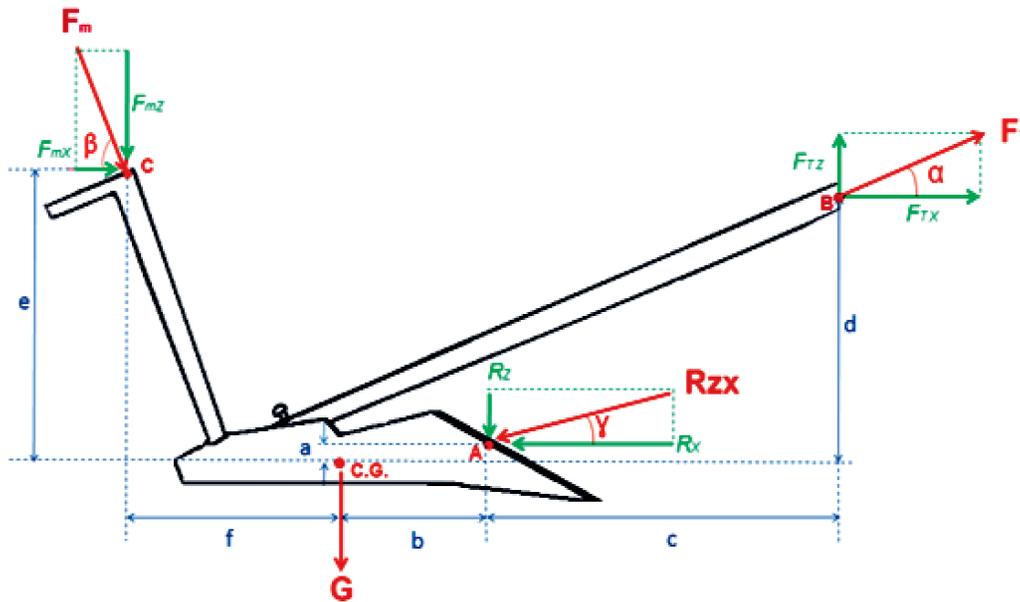


FIGURA 6. DCL del Arado para el caso 2.

Realizando la sumatoria de fuerzas en la horizontal $\sum F_x = 0$, se obtiene, que:

$$F_{tx} + F_{mx} - R_x = 0 \quad (7)$$

Despejando (F_{tx}) en la ecuación (7), se obtiene:

$$F_{tx} = R_x - F_{mx} \quad (8)$$

La sumatoria de fuerzas en la vertical $\sum F_z = 0$, permite obtener la componente de la fuerza de tiro en ese eje, como:

$$F_{tz} - R_z - G - F_{mz} = 0 \quad (9)$$

Finalmente se despeja F_{tz} y queda:

$$F_{tz} = R_z + G + F_{mz} \quad (10)$$

Por último realizando la suma de momentos $\sum M_{cg} = 0$, se obtiene, que:

$$F_{tz} \cdot (b + c) + F_{mz} \cdot f + R_x \cdot a - F_{tx} \cdot d - R_z \cdot b - F_{mx} \cdot e = 0 \quad (11)$$

donde: e , es la distancia perpendicular entre la línea de acción de F_{mx} y el punto cg ; f es la distancia perpendicular entre la línea de acción de F_{mz} y el punto cg .

Al despejar los momentos producidos por las componentes de F_t , se obtiene la ecuación de equilibrio:

$$F_{tz} \cdot (b + c) - F_{tx} \cdot d = R_z \cdot b + F_{mx} \cdot e - F_{mz} \cdot f - R_x \cdot a \quad (12)$$

Si el boyero levanta el arado para disminuir la profundidad de trabajo o sortear un obstáculo, entonces las ecuaciones (8), (10) y (12) quedarían, como:

$$F_{tx} = R_x + F_{mx} \quad (13)$$

$$F_{tz} = R_z + G - F_{mz} \quad (14)$$

$$F_{tz} \cdot (b + c) - F_{tx} \cdot d = R_z \cdot b - F_{mx} \cdot e + F_{mz} \cdot f - R_x \cdot a \quad (15)$$

En el caso de levante, el boyero aplica una carga vertical de levante sobre el arado. Eso significa que cambia de sentido F_m' , y la inclinación vertical será igual cero ($b=0$). El caso extremo, es cuando el arado pierde contacto con el suelo porque el boyero lo levanta para evitar un obstáculo.

Trabajo del arado con carga de mano en el mango de la manquera. El boyero aplica una fuerza sobre el mango de la manquera, para equilibrar el arado cuando este tiende a levantarse debido a la reacción del suelo (Figura 7). En este caso la fuerza de reacción vertical del suelo adquiere magnitudes tales, que obliga al boyero a ejercer esta fuerza para equilibrar arado durante el trabajo y estabilizar la profundidad de aradura. Como un caso particular el boyero en ocasiones levanta el arado para sortear obstáculos en el terreno, o evitar la profundización excesiva.

Durante esta maniobra del boyero, actúan las mismas fuerzas que en el caso 2, con la diferencia que el punto de acción de la fuerza ejercida por el boyero se traslada hacia

el mango de la manquera (Figura 8).



FIGURA 7. Aplicación de carga en el mango de la manquera.

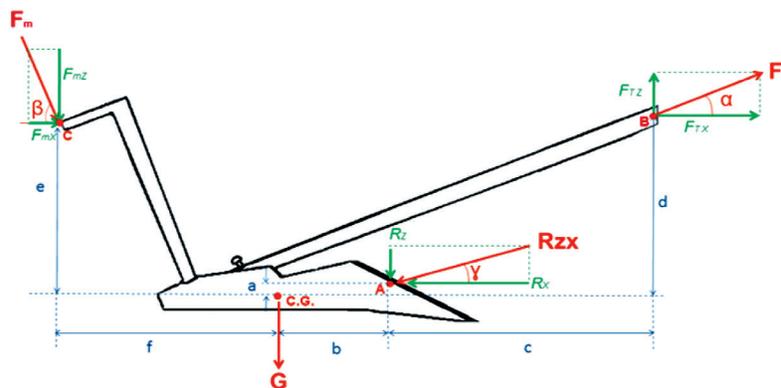


FIGURA 8. DCL del Arado para el caso 3.

Se plantea como primer paso la suma de componentes de las fuerzas en horizontal $\sum F_x = 0$, quedando como:

$$F_{tx} + F_{mx} - R_x = 0 \quad (16)$$

Despejando la fuerza de tiro resultante F_{tx}

$$F_{tx} = R_x - F_{mx} \quad (17)$$

Haciendo sumatoria de fuerzas la vertical

$$F_{tz} - R_z - G - F_{mz} = 0 \quad (18)$$

Despejando la fuerza de tiro en la ecuación 18, quería como:

$$F_{tz} = R_z + G + F_{mz} \quad (19)$$

Luego se establece la sumatoria de momentos $\sum M_{cg} = 0$ con respecto a cg:

$$F_{tz} \cdot (b + c) + F_{mz} \cdot f + R_x \cdot a - F_{tx} \cdot d - R_z \cdot b - F_{mx} \cdot e = 0 \quad (20)$$

Haciendo los arreglos necesarios y los despejes pertinentes la ecuación de balance quería, como:

$$F_{tz} \cdot (b + c) - F_{tx} \cdot d = R_z \cdot b + F_{mx} \cdot e - F_{mz} \cdot f - R_x \cdot a \quad (21)$$

Si el boyero aplica una fuerza para levantar el arado, entonces se tiene que:

$$F_{tx} = R_x + F_{mx} \quad (22)$$

$$F_{tz} = R_z + G - F_{mz} \quad (23)$$

$$F_{tz} \cdot (b + c) - F_{tx} \cdot d = R_z \cdot b - F_{mx} \cdot e + F_{mz} \cdot f - R_x \cdot a \quad (24)$$

Trabajo del arado con carga de pie sobre la cabeza del arado. El boyero aplica una fuerza con el peso del cuerpo sobre el arado que tiende a levantarse por el efecto de la fuerza de tiro de los animales y la reacción del suelo (Figura 9). En este caso la fuerza de reacción del suelo ha alcanzado niveles superiores y no puede ser compensada con la carga ejercida por la mano del boyero, también busca alcanzar la profundidad máxima de trabajo. De igual forma que el caso 2, el boyero ejerce una carga con la mano sobre la parte superior de la manquera, aunque en este caso solo busca equilibrar su posición encima del arado y mantener la dirección del mismo.



FIGURA 9. Aplicación de carga sobre la cabeza del arado.

Las fuerzas y reacciones que se manifiestan durante esta maniobra se muestran en la figura 10, las mismas coinciden con las encontradas en el caso 2, a excepción de la fuerza F_{pie} aplicada por el boyero con el pie sobre la cabeza del arado.

Planteando la sumatoria de fuerzas en el eje x $\sum F_x = 0$ la ecuación quedaría como:

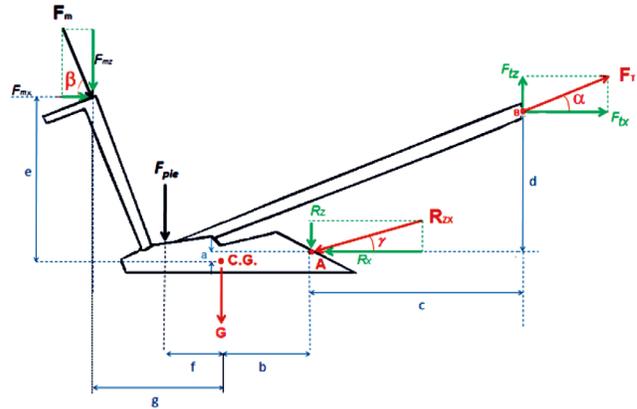


FIGURA 10. DCL del Arado para el caso 4.

$$F_{tx} + F_{mx} - R_x = 0 \quad (25)$$

Despejando F_{tx} de la ecuación (25), entonces quedaría:

$$F_{tx} = R_x - F_{mx} \quad (26)$$

Luego se procede con la sumatoria de fuerzas en el eje z $\sum F_z = 0$

$$F_{tz} - R_z - G - F_{mz} - F_{pie} = 0 \quad (27)$$

se despeja la ecuación (27) con relación a F_{tz} , entonces:

$$F_{tz} = R_z + G + F_{mz} + F_{pie} \quad (28)$$

Finalmente se plantea la sumatoria de momentos con respecto a $cg \sum M_{cg} = 0$, entonces:

$$F_{tz} \cdot (b + c) + F_{pie} \cdot f - F_{mx} \cdot e + F_{mz} \cdot g + R_x \cdot a - F_{tx} \cdot d - R_z \cdot b = 0 \quad (29)$$

donde: f es la distancia perpendicular entre la línea de acción de F_{pie} y cg , h es la distancia perpendicular entre la línea de acción de F_{mx} y cg , y g es la distancia perpendicular entre la línea de acción de F_{mz} y cg .

Si se despeja la ecuación (29) con respecto a los momentos causados por las componentes de F_p , entonces la ecuación del balance quedaría, como:

$$F_{tz} \cdot (b + c) - F_{tx} \cdot d = R_z \cdot b + F_{mx} \cdot e - F_{mz} \cdot g - F_{pie} \cdot f - R_x \cdot a \quad (30)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del suelo de la parcela objeto de estudio. El suelo de la parcela de pruebas se clasifica como un Regosol (WRB, 2006), con un predominio de la arena en su composición textural (Tabla), lo cual condiciona que posea una consistencia

franco arenosa, según la clasificación textural del Instituto de Suelos de Cuba (Cairo Cairo y Quintero, 1980). En la capa arable de 0 a 15 m de profundidad el suelo se encontró en estado suelto o poco compacto, sin embargo más allá de esta, se detectó una capa compacta que se extendía hasta los 0,30 m. La humedad del suelo durante la experimentación fue baja.

TABLA. Textura, densidad y humedad del suelo en la parcela objeto de estudio

Profundidad, m	0 a 0,15	0,15 a 0,30
Textura		
Arena, %	77,54	71,48
Limo, %	5,64	11,64
Arcilla, %	16,52	16,88
Clase textural	Franco arenoso	Franco arenoso
Densidad, g/cm ³	1,61	2,34
Humedad relativa, %	7,10	7,49

Fuerza de tiro demandada en las operaciones realizadas por el boyero durante la aradura. Los resultados de la

medición de esta fuerza (Figura 11), confirman los supuestos teóricos elaborados a partir de las entrevistas a los boyeros y las observaciones realizadas durante las distintas operaciones que estos realizan durante la aradura. Se evidencia que el boyero realiza cuatro operaciones fundamentales durante esta labor, las cuales determinan la demanda de fuerza de tiro del mismo, alcanzando valores que varían de 850 a 2 182 N.

La resistencia mínima se registró durante el trabajo libre del arado, oscilando entre 850 a 1 370 N, en este caso, predominó el trabajo estable del arado, demandando el menor gasto de energía a los animales de tiro y del boyero. El límite inferior de los 850 N marca el inicio del trabajo estable del arado. Con el aumento de la resistencia del suelo el arado tiende a ser levantado, producto de un incremento de la reacción suelo en el sentido normal (Eje z), por lo que el boyero empuja el arado aplicando un fuerza con la mano sobre la manquera, con el fin de contrarrestar la fuerza de reacción y mantener la profundidad de trabajo. Este acción se refleja en el aumento la demanda de la fuerza de tiro, llegando a alcanzar valores de 1 470 N, lo cual marca el límite superior para el trabajo estable del arado.

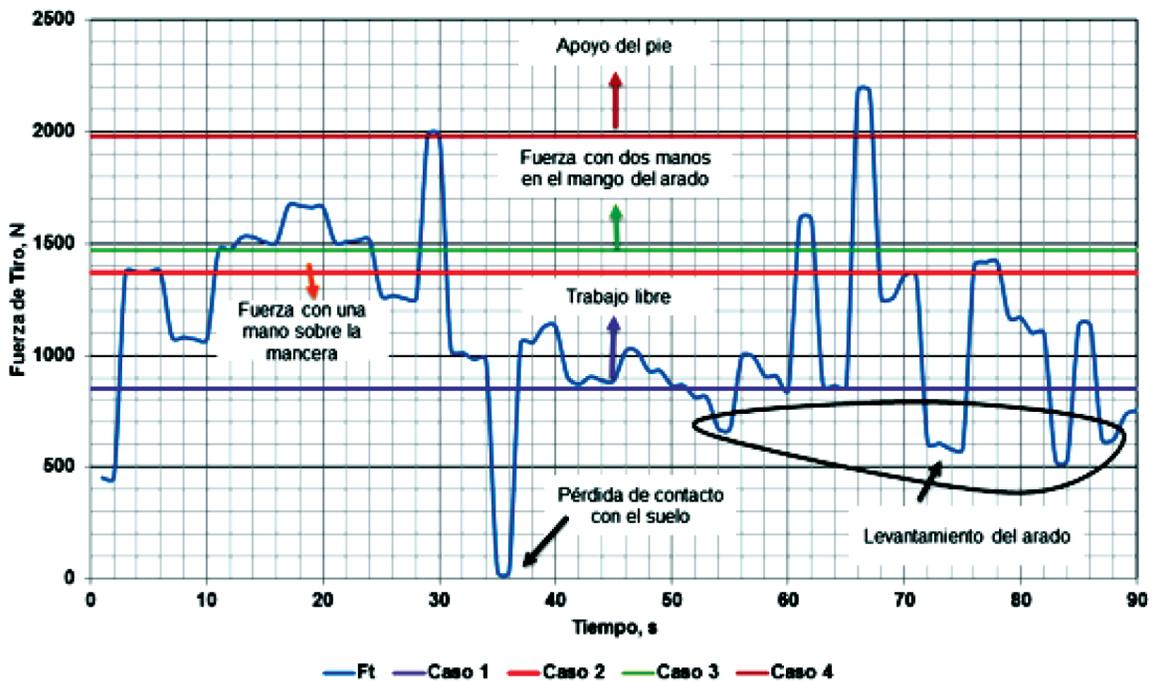


FIGURA 11. Fuerza de tiro demanda por el arado de palo tradicional mexicano durante la aradura.

El intervalo de esfuerzos registrados durante el trabajo estable del arado (850 a 1 470 N) concuerda con los obtenidos por otros investigadores (530 a 1 295 N), en diferentes condiciones de trabajo y tipos de aperos de labranza (Bartholomew *et al.*, 1995; Gebresenbet *et al.*, 1997; O’Neill, 2002; Loukanov *et al.*, 2005; Temesgen *et al.*, 2009).

Si el suelo está compactado el boyero se recarga con las dos manos sobre el mango de la manquera causando un incremento instantáneo de la demanda de tiro, elevándose hasta los 1 980 N. Cuando el suelo está muy compactado en exceso, la fuerza ejercida con las dos manos sobre el mango de la manquera, no es capaz de compensar el incremento de la fuerza de reacción del suelo, por lo que el boyero ejerce trata de compensar esta fuerza con la acción de su propio peso, subiéndose encima de la cabeza del arado, en este momento además ejerce una fuerza con la mano sobre la manquera, incrementando la demanda de tiro sobre los 1 980 N, llegando hasta alcanzar valores de 2 120 N. Cuando el arado labora capas de suelo muy sueltas penetra excesivamente producto de la abrupta disminución de la resistencia del terreno, en este caso el boyero ejerce una fuerza sobre la manquera para levantar el arado y conservar la profundidad del trabajo. Esta situación también surge cuando el boyero levanta el arado para sortear un obstáculo. En estos

casos la demanda de la fuerza de tiro registrada es menor a los 850 N. En ocasiones cuando arado colisiona con una raíz o alguna piedra y se detiene su avance, entonces el boyero, lo levanta verticalmente con el fin de evitar una rotura el apero, hasta que este pierde contacto con obstáculo y el suelo. En este momento se registran valores instantáneos muy bajos de la demanda de tiro, los cuales oscilan alrededor de 33 N.

Los resultados revelaron varios fenómenos que no han sido analizados en trabajos previos y que tienen gran repercusión en la demanda de la fuerza de tiro, el efecto sobre los esfuerzos internos en los componentes del arado y la calidad del trabajo agrotécnico. La variabilidad y tendencias mostradas por la demanda de fuerza de tiro obtenida en los experimentos concuerda con la obtenida por (Bobobee y Gebresenbet, 2007), quienes probaron diferentes herramientas de labranza encontrado una gran variación de estas fuerzas, con valores que van desde 100 hasta 1 700 N, lo cual incluye el levantamiento del arado y la sobrecarga del boyero sobre el mismo. Estos autores sin embargo no hacen ninguna alusión a la influencia de las maniobras del boyero sobre el apero, achacando las causas de la variación solamente a la falta de homogeneidad de las propiedades del suelo. De igual forma Tsujimoto *et al.* (2005), evaluaron tres arados japoneses y un arado español (de tiro animal) en Marruecos, registrando valores promedios de la fuerza de tiro de 804; 726; 731 y 702 N, para cada arado respectivamente, sin embargo las desviaciones normales de estas fuerzas fueron

elevadas, alcanzando los 400; 350; 300 y 270 N. Estas fueron atribuidas a la falta de pericia del boyero pero sin un análisis de las maniobras. Estos resultados corroboran la incidencia de la maniobras del boyero en la variabilidad de la fuerza demandada a los animales de tiro.

CONCLUSIONES

- Durante la labranza de suelos con el arado tradicional mexicano (arado de palo), el boyero realiza cuatro maniobras fundamentales que están dirigidas a sostener el arado durante su trabajo estable, conservar la profundidad de trabajo, y sortear los obstáculos que se interponen al apero;
- La demanda de fuerza de tiro durante la aradura está en función de las operaciones que realiza el boyero alcanzando valores que varían de 850 a 2 182 N, aunque durante el trabajo estable los valores máximos de fuerza de tiro no sobrepasan los 1 470 N.
- La carga ejercida con el pie del boyero sobre el arado de madera tiene gran influencia en la demanda de tiro, puesto que la eleva hasta en un 67% con respecto a los valores máximos de tiro (1 470 N) que se registran durante el trabajo estable del arado.
- Los levantamientos de arado que realiza el boyero disminuyen de tal manera el tiro que lo puede reducir hasta un valor mínimo de 33 N, debido a la pérdida de contacto con el suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRERA, N.; J. A. ZINCK & E. VAN RANST: "Symbolism, knowledge and management of soil and land resources in indigenous communities: Ethnopedology at global, regional and local scales", *Catena*, ISSN 0341-8162, 65: 118-137, 2006.
- BARTHOLOMEW, P. W.; T. Khibe y R. Ly: "In-Village studies of the use of work oxen in Central Mali", *Trop. Anim. Hlth Prod.*, ISSN 0049-4747, 27: 241-248, 1995.
- BLANCKAERT, I.; K. VANCRAEYNST; R. SWENNEN; F. ESPINOSA-GARCÍA; D. PIÑERO y R. LIRA-SAADE: "Non-crop resources and the role of indigenous knowledge in semi-arid production of Mexico", *Agriculture Ecosystems and Environment*, ISSN 0167-8809, Vol: 119 (1-2): 39-48, 2007.
- BOBOBEE, E. Y. H. y G. GEBRESENBET: "Effect of cutting edge thickness and state of wear of ploughshare on draught force and heart rates of Sanga oxen in Ghana", *Soil & Tillage Research*, ISSN 0167-1987, 95: 298-307, 2007.
- CAIRO CAIRO, P. y G. QUINTERO: *Suelos*, 475pp., Ed. Pueblo y Educación, ISBN 959-13-0209-6, La Habana, Cuba, 1980.
- CROCKER, R.; A. COSÍO; M. LÓPEZ; L. RUIZ; D. ANDRADE y Y. GUTIÉRREZ: "Interculturalidad alimentario-nutricional en la etnia wixarika de México", *Rev Esp Salud Pública*, ISSN 1135-5727, 78: 691-700, 2004.
- CRUZ, A.; T. MARTÍNEZ y J. M. OMAÑA: "Fuentes de fuerza, diversidad tecnológica y rentabilidad de la producción del maíz en México", *Ciencia Ergo Sum*, ISSN 1405-0269, Vol. 11 (003): 275-283, 2004.
- GEBREGZIABHER, S.; A. M. MOUAZEN; H. VAN BRUSSEL; H. RAMON; F. MERESA; H. VERPLANCKE, et al. J. DE BAERDEMAEKER: "Design of the Ethiopian ard plough using structural analysis validated with finite element analysis", *BIOSYSTEMS ENGINEERING*, ISSN 1537-5110, 97: 27-39, 2007.
- GEBRESENBET, G.: *Performance of curved animal drawn tillage implement Institutionen för lantbruksteknik*, Uppsala, Sverige, 1994.
- GEBRESENBET, G.; E. ZERBINI; A. ASTATKE y P. KAUMBUTHO: "Optimization of animal drawn tillage implement systems: Part 2, Development of reversible plough and a ridger", *J. agric. Engng Res*, ISSN 0021-8634, 67: 299-310, 1997.
- GONZÁLEZ, A. y S. DEL AMO: *Agricultura y Sociedad en México: Diversidad, enfoques, estudios de casos*, 672pp., Ed. Plaza y Valdés, S.A. de C.V., ISBN 968-856-575-X, 1999.
- GOOD, C. y G. BARRIENTOS: *Nahuas del Alto Balsas*, 39pp., Ed. Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, México, D.F., 2004.

- HOPFEN, H. J.: Farm implements for arid and tropical regions, 159pp., Ed. FAO, ISBN 92-5-101527-9, 2 ed, Rome, Italy, 1969.
- IUSS WORKING GROUP WRB: World reference base for soil resources 2006, 128pp., ISBN 92-5-105511-4, FAO, Rome, 2006.
- LAMBERT, J. D. H.; A. H. SIEMENS y J. T. ARNASON: "Ancient Maya drained field agriculture: its possible application today in the New River Floodplain, Belize, CA", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, ISSN 0167-8809, 11: 67--84, 1984.
- LOUKANOV, I. A.; J. UZIAK y J. MICHÁLEK: "Draught requirements of enamel coated animal drawn mouldboard plough", *RES. AGR. ENG.*, ISSN 1212-9151, Vol. 51 (2): 56-62, 2005.
- MARTIN, J. F.; E. D. ROYA; S. A. W. DIEMONT y B. G. FERGUSON: "Traditional Ecological Knowledge (TEK): Ideas, inspiration, and designs for ecological engineering", *Ecological Engineering*, ISSN 0925-8574, 36: 839-849, 2010.
- MERA, L. M.; R. ALVARADO; F. BASURTO; R. BYE; D. CASTRO; V. EVANGELISTA; C. MAPES; M. Á. MARTÍNEZ; N. MOLINA; J. SALDIVAR: "De quelites me como un taco". Experiencia en educación nutricional", *Revista del Jardín Botánico Nacional*, ISSN 0253-5696, Vol. 24 (1-2): 45-49, 2003.
- NC 20: 1999: *Determinación de la granulometría de los suelos*, Vig. 1999.
- NC 67:2000: *Geotecnia. Determinación del contenido de humedad de los suelos y rocas en laboratorio*, 15pp., Vig. 2000.
- NOM 021-RECNAT-2000: *Determinación de la densidad de los suelos*, Vig. 2002.
- O'NEILL, D.: *Draught power performance and production management. Final technical report* Silsoe Research Institute, Bedford, England, 32pp. 2002.
- PULIDO, J. S. y G. BOCCO: "The traditional farming system of a Mexican indigenous community: the case of Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, Mexico", *Geoderma*, ISSN 0016-7061, 111: 249-265, 2003.
- ROMERO, A. T.: "Notas sobre el traslado de las herramientas agrícolas del Viejo Mundo hacia la Nueva España", *Ciencia Ergo Sum*, ISSN 1405-0269, Vol. 13 (002): 227-232, 2006.
- STARKEY, P.: *Harnessing and Implements for Animal Traction*, 180pp., ISBN 3-528-02053-9, 1989.
- STRESSER, G.: (ed.) *El arado criollo en México y América Central*, 107pp., Ed. CEMCA, IFAL y ORSTOM, ISBN 968-6029-03-6, México, D.F., 1988.
- TEMESGEN, M.; W. B. HOOGMOED; J. ROCKSTROM y H. H. G. SAVENIJE: "Conservation tillage implements and systems for smallholder farmers in semi-arid Ethiopia", *Soil & Tillage Research*, ISSN 0167-1987, 104: 185-191, 2009.
- TSUJIMOTO, T.; H. SAKURAI; K. HASHIGUCHI y E. INOUE: "Study on the Development of Agricultural Machines for Small-Scale Farmers, Part 2 (Applied Technology to the Improvement of an Animal-Drawn Plow for Morocco and Africa)", *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, ISSN 0084-5841, Vol. 36 (2): 14-20, 2005.
- VÁZQUEZ-GARCÍA, V.; L. GODÍNEZ-GUEVARA; M. MONTES-ESTRADA y A. S. ORTIZ-GÓMEZ: "Los quelites de Ixhuapán, Veracruz: disponibilidad, abastecimiento y consumo", *Agrociencia*, ISSN 1405-3195, Vol. 38 (4): 445-455, 2004.
- VÁZQUEZ, V.; M. L. GODÍNEZ; A. S. ORTIZ y M. MONTES: "Uncultivated Foods in Southern Veracruz, Mexico: Establishing the Links between Ecosystem Health, Food Availability, and Human Nutrition", *EcoHealth*, ISSN 1612-9202, 1Suppl 2: 131-143, 2004.

Recibido: 18 de diciembre de 2013.

Aprobado: 22 de septiembre de 2014.

Publicado: 28 de diciembre de 2014.

Fidel Diego Nava, Prof., CIIDIR Unidad Oaxaca IPN, Horno 1003, Xoxocotlán, Oaxaca., México, Correo electrónico: fdiego@ipn.mx

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.