



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN**

**“LA ENERGÍA CONSUMIBLE EN UNA
LABRANZA CON TIRO ANIMAL”.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER ÉL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA
P R E S E N T A:

JOSÉ SANTOS SÁNCHEZ PÉREZ

ASESOR: DR. CARLOS GÓMEZ GARCÍA.

CUAUTILÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO

2007



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme estudiar en ella.

A la Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlán por ser la Institución de mi formación profesional.

Al mi jurado: Ing. Manuel de la Rosa García, Ing. Aurelio Valdéz López, M.C. Ana María Martínez García y Ing. Carlos Colorado Yáñez por sus comentarios acertados.

A mi asesor Dr. Carlos Gómez García, por aceptar dirigir mi tesis, por sus acertados comentarios y por la dedicación de su tiempo.

A Dios por permitirme llegar a está etapa y seguir continuando luchando con su bendición.

DEDICATORIAS

A mis padres Elías y Margarita:

Que con sus esfuerzos, sacrificios, preocupaciones y consejos soy un Ingeniero Agrícola.

A mis hermanos: Marcos, Saúl, Jesús y Felipe:

Ellos que son parte de mi vida y los quiero mucho.

A mis abuelos Dionicia, Hilario, † Ascensio y † Concepción:

Por su cariño, consejos y regaños. Por ser el motivo de superación e inspiración para seguir adelante.

A Gaby:

Por permitirme entrar en su vida y compartirla. Por ser el motivo y la razón de seguir adelante y por todo el apoyo y comprensión a mi persona. Gracias.

Al Presbítero: Jesús de Guadalupe Olmos Alvarado, por apoyarme y por su amistad.

A Nancy.

Que con su sentido del humor, alegría, aprecio, cariño y amistad me apoyo a terminar la tesis.

A Margarita Sánchez Gómez y Arturo Rodríguez Vargas:

Por su apoyo y amistad.

Índice de figuras	
Índice de cuadros	
Resumen	
Objetivos e Hipótesis	

I INTRODUCCIÓN	1
-----------------------	---

CAPÍTULO I. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS	3
-----------------------------	---

1.2 FUERZA Y TIRO ANIMAL	9
--------------------------	---

1.3 CONCEPTOS DE ESTÁTICA	15
---------------------------	----

1.4 LABRANZA	20
--------------	----

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	38
--------------------------------	----

2.2 MÉTODO DE ESTUDIO	40
-----------------------	----

2.3 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO	44
-------------------------------	----

2.4 DIAGRAMA DE FLUJO	45
-----------------------	----

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 VELOCIDAD DE AVANCE PROMEDIO	46
----------------------------------	----

3.2 ÁNGULO DE TIRO	46
--------------------	----

3.3 FUERZA DE TRACCIÓN	47
------------------------	----

3.4 POTENCIA Y ENERGÍA	48
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	50
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	53
LITERATURA CITADA	54
APÉNDICES	59

Energía, potencia, tracción, fuerza, animal, arneses, arados asimétricos, simétricos, vertedera, dinamómetro, labranza, aradura, balancines, ángulo.

Resumen

Se realizó una labor de aradura; con tracción animal que ha sido usada para transporte, para cultivar la tierra y producir cosechas por siglos. De esta manera la energía animal ha contribuido al desarrollo cultural y económico del hombre desde antes de la invención de la rueda. Actualmente, en muchas regiones del mundo, a pesar del desarrollo de la mecanización agrícola durante el último siglo, los animales continúan suministrando una gran proporción de la energía utilizada en la agricultura.

Por lo anterior el siguiente trabajo tuvo como finalidad evaluar, en dos etapas la energía consumible durante una operación de labranza con tiro animal. La primera se llevó a cabo con la aradura en campo, se realizó en un terreno de 1.5 ha, ubicado en el Municipio de Melchor Ocampo Estado de México, utilizando un arado de tipo matador (fierro) con una vertedera universal, con una base para tierras negras, con un ancho de trabajo de 0.37 m y una profundidad en promedio de trabajo de 0.15 m. Se unieron los dos animales, se engancho el dinamómetro digital con capacidad de 1000 Kgf, con el arado y el balancín principal (vara de tiro). El patrón de movimiento en campo fue dividido en melgas de 100 m de largo, tomándose lecturas por cada 12 m, de los cuales se saco un promedio, obteniendo 8 lecturas por melga (surco) con 15 repeticiones, midiendo la fuerza en Kgf, tratando de obtener un muestreo de datos lo más representativo en el terreno. Los datos arrojados de la prueba se agruparon en intervalos mediante rangos que van desde la fuerza menor hasta la fuerza mayor, después se graficaron usando el polígono de frecuencia.

La fuerza de tracción promedio total obtenida fue de 130.113 Kgf (1276.087 N). Además de este valor se obtuvo el porcentaje de humedad promedio de 29/100 g de suelo, esto se llevó acabo tomando 8 muestras por las 15 repeticiones a una profundidad de 15 cm. Cada muestra fue de aproximadamente de 50 g de suelo,

las cuales se llevaron a l laboratorio obteniéndose el peso húmedo y seco de las muestras y por la fórmula de diferencias de pesos se determinó el porcentaje de humedad. En cuanto a la textura se tomaron de 3 a 5 muestras por surco con un peso aproximado 200 g a una profundidad de 15 cm. Cada muestra se llevó a punto de saturación y de mediante el método del tacto se determinó la textura del suelo (Arcilloso-Arenoso).

Se tomo el tiempo de recorrido con un cronómetro del par de animales en una distancia de 100 m. para cada surco o melga, para obtener la velocidad de avance que en promedio fue de 0.91 m/seg. El ángulo de tiro, se obtuvo cuando los animales se encontraban en descanso de la siguiente forma, con una plomada se midió la altura (h) del punto de enganche con respecto al suelo. Con el longímetro partiendo del punto de referencia de enganche con el suelo se midió la distancia con el centro de resistencia del arado (L), calculando el ángulo de tiro al dividirse la componente de la vertical (h) con la componente horizontal (L), de esta división se le saca la arco tangente (teorema de Pitágoras), esto se llevó acabo para los dos tipos de animales que en promedio fue de 19.5°.

Con la recopilación de los datos se realizó la segunda etapa que incluye los cálculos de potencia con las fórmulas correspondientes medida en unidades de caballos de fuerza (Hp) y Watts. Se obtuvo una potencia promedio de 1161.239 Watts y una potencia promedio en Hp de 1.578.

La energía promedio calculada fue de 4180.461 kW-h; que equivalen a 998.968 Kcal.

Objetivos e hipótesis

Objetivo General

Determinar los niveles de energía que se consumen en una operación de labranza realizada con tracción animal, y tener criterio de comparación con relación al consumo doméstico de energía eléctrica.

Objetivos Particulares

1. Determinar la fuerza de tracción requerida en una labor de aradura con tiro animal, caminando a una velocidad normal de trabajo, para complementar la escasa información existente al respecto.
2. Determinar la potencia desarrollada por un par de caballos al realizar una operación de aradura, en unidades de caballo de fuerza y otras.
3. Analizar los factores que pueden influir en la eficiencia de la tracción animal al realizar una labor de aradura

Hipótesis

- Para realizar una operación de aradura, se requieren dos caballos ya que la potencia que un solo animal desarrolla, no satisface los requerimientos para esta labranza. Esto se observa en la aradura que se realiza en diferentes campos y condiciones de suelo, con animales de tiro.
- Se espera que los niveles de energía que se consumen para concluir la aradura, sean superiores si se compara con el consumo de energía eléctrica de uso doméstico.

Introducción

México presenta en su territorio agrícola una amplia gama de tecnologías de producción que en función de los factores climáticos, edáficos, hídricos, topográficos, socio-económicos y tecnológicos, se utilizan diversas fuentes energéticas; la fuerza muscular del hombre, la energía de los animales y la potencia de los motores de combustión interna (Cruz, 1989).

Arcos Ávila (1997), destaca que a nivel nacional predominan las unidades de producción que emplean fuerza animal para efectuar las labores agrícolas, siendo del orden del 34%, seguido por las que emplean fuerza humana con un 31%, las que utilizan una fuente mixta tractor-animales de trabajo, constituyen un 16%, y las que utilizan un tractor exclusivamente representan un 19%.

La energía de los animales de tiro tiene una contribución importante a la agricultura y a las economías rurales de los países para cosechar, transportar los productos al mercado y en las operaciones agrícolas. El aporte energético animal en los países del tercer mundo es equiparable a los tractores pero su costo es mucho menor en términos económicos y ambientales (Pearson, 1995).

A las puertas del siglo XXI la energía animal sigue vigente en casi todas partes del mundo. Los animales de tiro son más baratos y mucho menos dañinos para el ambiente que la gasolina o el diesel. Actualmente la energía animal contribuye con cerca del 10% de la energía agrícola total en el África, el 17% en el cercano oriente y África del norte, el 28% en Asia (excluyendo China) y el 19% en América Latina (Gifford, 1992).

Debido a la poca información bibliográfica sobre la tracción animal en México en las operaciones agrícolas como son la potencia desarrollada, velocidad de trabajo, niveles de energía consumibles y la eficiencia de los arneses, ya sea con caballos o bueyes, se pretende con este trabajo cuantificar en una operación de labranza

con tiro animal (equinos) la fuerza de tracción, velocidad de avance, potencia desarrollada, así como la energía. Con los datos obtenidos se evaluará el rendimiento de un par de animales en una operación de labranza y la influencia que tienen sobre está determinados factores tales como el tipo de suelo, porcentaje de humedad, tipo de animal y preparación del terreno.

CAPITULO I REVISIÓN DE LITERATURA

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El inicio del uso de los animales en la agricultura data del año 3200 a. c. en la antigua Mesopotamia. Sin embargo, la introducción de los animales de trabajo en México data del siglo XVI. Las especies y la tecnología que se utilizaron correspondieron a las prácticas agropecuarias existentes entonces en España, razón por la cual desde esa época el uso de animales de trabajo quedó restringido a vacunos (*Bos taurus*), caballos, mulas y asnos, a pesar del número elevado de otras especies que se empleaban en el mundo. La tecnología de la tracción fue importada por los europeos, quienes además controlaron su adopción en las explotaciones. Las explotaciones de caña de azúcar fueron las primeras en utilizar el trabajo animal para satisfacer los elevados aportes de esfuerzo físico inherentes a las faenas. Los indígenas conocieron la tecnología de la tracción animal al ser obligados a trabajar en las explotaciones en virtud del sistema de la encomienda; sin embargo, durante la primera mitad del siglo XVI les estuvo prohibido poseer y utilizar animales de trabajo para su beneficio personal (Centro Técnico de Agricultura y Cooperación Rural de los países Bajos (CTA) por sus siglas en ingles, 1997).

El transporte fue una de las actividades en las que por falta de caminos se emplearon los animales de carga y silla, pero en el porteo también se empleaban cargadores. Tan pronto como se construyeron los caminos carreteros se aprovecharon los animales para tirar vehículos. En la minería los animales se usaron para la molienda del mineral y el transporte de materias primas, así como para la producción y transporte de los productos alimenticios para cubrir las necesidades de los mineros (Centro Técnico de Agricultura y Cooperación Rural de los países Bajos (CTA) por sus siglas en ingles, 1997).

Los animales de tiro en México

En México, las estadísticas sobre los diferentes aspectos relacionados con el uso de los animales de tiro son poco homogéneas, y ello dificulta un manejo comparativo de los datos correspondientes a la década en que se levantan los censos agropecuarios; a pesar de ello se intentará presentar una visión de conjunto que muestre la importancia de los animales de trabajo. “La información contenida en este artículo corresponde a los datos censados de 1930 a 1990”, en los que se considera como animales de trabajo a vacunos *Bos taurus* y *B. indicus* (este último introducido a mediados del siglo XX), caballos, machos y mulas, los cuales se usan para el tiro de instrumentos y vehículos, carga y silla; se excluye a los asnos a pesar de su elevado número (Cruz, 1994).

La población total de animales de trabajo (incluyendo vacunos, caballos y mulas) durante el período 1930-1990 se descompone de la siguiente manera: 2 801 345 animales en 1930; 2 795 848 en 1940; 3 919 605 en 1950; 3 476 396 en 1960; 4 149 441 en 1970; 2 238 656 en 1980; y 2 238 672 en 1990. La información de los dos últimos censos es imprecisa, sobre todo la de 1980, de la cual sólo se publicó un resumen; y la de 1990 sobre animales de trabajo que contrasta con la situación observada en las comunidades, donde los cambios no han sido evidentes en los últimos 20 años (Cruz, 1994).

Entre las especies usadas para el trabajo, los vacunos son los animales de mayor importancia, representando más del 50 por ciento del total de animales usados para tiro hasta 1970. A partir de ese año se observa una disminución de su importancia relativa, a tal punto que en 1990 representan menos del 30 por ciento del total (Campos, 1997).

En cuatro estudios regionales de casos con datos contrastantes, Cruz 1994 encontró que el 32.7 por ciento del total de productores poseían animales para tracción. Entre estos productores el 62.3 por ciento poseían vacunos, el 20 por

ciento machos o mulas, el 11.8 por ciento caballos, y el 5.9 por ciento yuntas mixtas.

La importancia de la tracción animal es mayor en el centro y sur del país; los estados que destacan son Guanajuato, Oaxaca, Puebla, Jalisco, México, Zacatecas, San Luis Potosí, Guerrero, Veracruz e Hidalgo. La información del censo de 1970 es más completa que la de los demás censos; algunos datos relevantes se relacionan con el tipo de energía empleada en la superficie laborable; así, la superficie total laborable para ese año fue de 19 385 420 ha; en el 63 por ciento de dicha superficie se empleó tracción animal, en el 21.5 por ciento tracción motorizada y en el 15.4 por ciento tracción mixta. Concentrando cantidades, se establece que la tracción animal fue empleada en el 68.5 por ciento de la superficie cultivada, en tanto que la tracción motorizada fue empleada en el 31.5 por ciento (Cruz, 1994).

La importancia de los animales en los sistemas de producción se relaciona estrechamente con el cultivo de maíz, que representa entre el 40 y 50 por ciento de la superficie laborable en México. El cultivo de esta especie se lleva a cabo utilizando diferentes tecnologías. Montañez y Warman (1985) citado por Campos (1997) encontraron que para 1981, a nivel nacional, la tracción animal se utilizaba en forma exclusiva en el 38,8 por ciento de la superficie cultivada, que en el 35,1 por ciento de la misma intervenía la tracción motorizada, y que en el resto se aplicaba una combinación de ambas (Cruz, 1994).

1.1.2 Agricultura tradicional

Un sistema Agrícola es un conjunto de elementos y recursos naturales, humanos, energéticos, tecnológicos y financieros, organizados en tiempo, cantidad e intensidad de aplicación, de manera tal que generen una cierta producción agrícola sustentable y a un costo razonable dentro de un entorno agroecológico y socioeconómicos (Mariaca, 1997).

En todo el mundo existe una gran diversidad de sistemas agrícolas, los cuales varían según las condiciones de los recursos naturales de cada región, el nivel cultural y tecnológico de sus habitantes y la cantidad de dinero que posean. Sin embargo, atendiendo a ciertas características comunes, tales como el uso intensivo de mano de obra, concentraciones de energía comercial utilizada, niveles tecnológicos empleados, así como la forma cantidad y disponibilidad de los recursos naturales, es posible clasificar los sistemas agrícolas en cuatro grandes grupos: a) Agricultura Nómada, b) Agricultura Tradicional, c) Agricultura de Transición y d) Agricultura Moderna o Tecnificada. Todos estos sistemas agrícola subsisten y son utilizados actualmente en México (Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, 1997).

La Agricultura Tradicional se enfoca a las practicas agrícolas como: selección de semilla, preparación del suelo, siembra, riego, fertilización, control de malezas, control de plagas y enfermedad y cosecha.

En la selección de semillas el criterio que utiliza el productor son el tamaño, forma, color y rendimiento. Este proceso lo realiza cada ciclo de siembra, selecciona su propia semilla o en su caso busca en otras regiones aledañas. En la preparación del suelo los implementos que utiliza es el arado, rastra, subsolador, azadón, pala, rastra de picos, etc. Usando fuerza animal o fuerza humana para realizar la siembra; la forma más común es: mateado, al voleo, chorrillo, tapa pie, combinados. El riego se efectúa en dos opciones: Un riego de presiembra o la de manejar las fechas de siembra para aprovechar el temporal. Otras prácticas importantes son el surcado, el aporcado y la construcción de bordos (Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, 1997)

Los instrumentos utilizados para esta actividad es la pala, arado de doble vertedera, surcadora, etc. La fertilización en este sistema es mediante la incorporación de abonos orgánicos, que puede ser de origen vacuno, equino, porcino y ovino. Estos los obtienen de los ranchos lecheros o pequeños

productores de leche, así como de los animales de tiro (mula, bueyes y caballos). Estos deben pasar por un proceso de fermentación o secado. El control de malezas se hace manual y/o mecánico, consiste en el uso de las manos como forma de control mediante el arranque de arvenses, en el primer caso, y en el uso de instrumentos simples (machetes, pala, hoz, azadón, etc) o complejos movidos por energía animal y humana (cultivadora, rastras, arado, aspersoras mecánicas). En ambas circunstancias, el control suele ser físico, ya sea de corte de la estructura, o bien, de la remoción total de la planta mediante un desentierre y posterior exposición. En ocasiones recurrirá a la utilización de herbicidas o combinaciones mecánico-químico (Mariaca, 1997).

Para el control de plagas y enfermedades, el agricultor suele eliminar los insectos con la mano o con insecticidas; si se trata de enfermedades recurrirá regularmente a los fungicidas o bactericidas. Los instrumentos que utilizan son: aspersoras mecánicas o manuales, cintas, etc. La cosecha se efectúa manual y/o mecánica utilizando instrumentos como son: el machete, guadañas, arados, hoz, y el transporte con carretas jaladas con fuerza animal y energía humana cargando costales en los hombros (Mariaca, 1997).

1.1.3 Ventajas y desventajas de la fuerza animal y motriz

Ventajas de la fuerza motriz

Permite hacer los trabajos con más rapidez y en momento oportuno. Por lo tanto, se pueden trabajar mayores superficies.

Los terrenos que se destinaban a la alimentación de animales de tracción, pueden utilizarse para producir alimentos para el hombre.

Pueden hacerse labores de mejor calidad. Por ejemplo: mejor colocación de la semilla y del fertilizante en el terreno, aplicación precisa de dosis de herbicidas, aradura a la profundidad adecuada.

Menor sacrificio y esfuerzo humano para realizar los trabajos agrícolas, especialmente en condiciones adversas.

Desventajas de la fuerza motriz

No se puede utilizar en terrenos con una topografía irregular, terrenos pedregosos, con exceso de humedad, o si se usa su rendimiento disminuye.

Requiere de extensiones relativamente grandes para justificación económica.

Desplazamiento de la mano de obra, aumenta los niveles de desempleo rural que conlleva a la migración.

Alto costo de la maquinaria, lo que hace difícil adquirirla de no contar con crédito adecuado a las posibilidades de pago de los campesinos.

Ventajas de la fuerza animal.

Se puede utilizar en terrenos disparejos, pedregosos, con excesos de humedad.

Bajo costo de los animales para adquirirlos.

Pueden hacerse labores en terrenos con superficies pequeñas.

Utilización de mano de obra; por ejemplo en el momento de sembrar se requiere de otra persona para colocar la semilla (sembrador) y otra en la escarda del maíz.

Animales con doble propósito; por ejemplo: mula, asnos y caballos los utilizan de carga y trabajo, los bueyes para obtener carne y leche.

Se tiene una menor o no existe compactación del suelo En terrenos compactados no hay una buena filtración del agua, disminuye el porcentaje de germinación.

No se requiere de otro tipo de energía (combustible) y desgaste del equipo por la fricción.

Desventaja de la fuerza animal.

Adiestramiento y trato de los animales. Se acostumbra a llevar arneses y después a arrastrar cargas ligeras a un paso rápido junto a otro animal ya adiestrado.

Labores con baja calidad. Durante la labor, se les obliga a seguir una línea recta (mulas, caballos y asnos), la profundidad de aradura varía, en la siembra en donde existen partes que no son uniformes y las semillas quedan juntas o separadas depende del sembrador, en la escarda del maíz en ocasiones se tiran o tapan muchas plantas con el arado.

Requieren de una alimentación balanceada. En proteínas y carbohidratos y en ocasiones inyecciones de vitaminas.

En los terrenos duros no se puede utilizar esta fuerza, requieren mayor energía o animales de trabajo.

Mantenimiento de los implementos. Existen pocos lugares donde hay piezas de repuesto o mantenimiento.

Mayor tiempo para hacer trabajos (Ullon, 1980).

1.2 FUERZA Y TIRO ANIMAL

La utilización por primera vez de la fuerza de los animales sucedió aproximadamente cuatro mil años antes de Cristo, y durante los seis milenios posteriores se hicieron nuevos instrumentos y se perfeccionaron los primeros a través de la incorporación de modificaciones en el diseño, así como nuevos materiales, de mayor dureza y maleabilidad, y desde luego nuevos procesos de fabricación (Foro Nacional sobre empleo de animales de trabajo en la Agricultura, 1997).

1.2.1 Uso de la fuerza animal

Cuando el hombre observó que los animales como los caballos y bovinos desarrolla una fuerza mayor que él, empezó a incursionar para aprovechar esta fuerza en realizar diversas actividades agrícolas. La tarea conllevó a la domesticación y seguido por el adiestramiento (Michael, 1980).

El transporte de cargas fue quizá la primera actividad que los animales desarrollaron seguido por las actividades de labranza, que tuvo que esperar hasta la construcción de los primeros implementos y arneses apropiados.

A finales del siglo XIX, se determinó que los caballos desarrollan una fuerza 10 veces superior a la del hombre, trabajando en condiciones normales (Foro Nacional sobre empleo de animales de trabajo en la Agricultura, 1997).

La Tracción Animal (TA) ha sido usada por siglos para transporte, para cultivar la tierra y producir cosechas. De esta manera la energía animal ha contribuido al desarrollo cultural y económico del hombre desde antes de la invención de la rueda. Actualmente, en muchas regiones del mundo, a pesar del desarrollo de la mecanización agrícola durante el último siglo, los animales continúan suministrando una gran proporción de la energía utilizada en la agricultura (Pearson, 1994).

En los países en desarrollo, las especies animales que más se emplean en la actualidad para trabajar en los países en desarrollo son los bovinos, seguidos en su orden por los equinos, asnales, mulares y camélidos. Además de los anteriores, hay otros animales que con su fuerza realizan diferentes tareas en diferentes partes de nuestro planeta en condiciones específicas. Es así como los perros arrastran trineos en el polo norte, los alces y renos son empleados como cabalgadura y/o para arrastrar trineos en escandinava y las estepas rusas, los yaks y su cruce con bovinos son empleados en labranza y transporte en los montes del Himalaya, elefantes laboran en los bosques de la India, llamas y alpacas transportan carga en las altillanuras de los Andes en Bolivia y Perú y las cabras se aprovechan en algunas labores ligeras de tiro de carretas y labranza en Honduras (Pearson, 1994).

Respecto al uso de la energía animal, según Chirgwin 1995, estima que la utilización de la fuerza animal en la preparación de suelos disminuirá en los próximos tres años en comparación con el empleo de tractores con el mismo fin a

escala mundial. Según esta misma información a pesar de la tendencia a disminuir el uso de la fuerza animal en comparación con los tractores en la preparación de suelos, los aportes de energía de los seres vivos y las máquinas en la agricultura serán del orden del 25 y del 4% en Asia, del 12 y del 11% en el Medio Oriente, del 13 y 8% en América Latina y del 8 y menos del 1% en África.

A pesar de estas estimaciones, hay razones para pensar que la situación puede ser contraria, según el Centro Técnico de Agricultura y Cooperación Rural de los países Bajos. (CTA) por sus siglas en ingles, 1997 sostiene que el aprovechamiento de la energía animal es mayor ahora, que se finaliza en el siglo veinte, que lo que fue en el siglo pasado, debido a que la población mundial humana se ha triplicado en este período y por consiguiente la demanda de alimentos también. El crecimiento demográfico ha traído como consecuencia la intensificación de los sistemas productivos en los países en desarrollo en empresas de pequeña y mediana escala. Sin embargo, en estos sistemas productivos puede ser difícil encontrar y/o introducir maquinaria en la producción de cosechas debido a su alto costo. Es en este contexto donde la tracción animal se ha convertido en una alternativa tecnológica viable e innovadora para el productor que así puede sortear las dificultades económicas y ser más eficiente en la realización de su trabajo.

1.2.2 El hombre como fuente de fuerza motriz

El hombre como fuente de fuerza motriz para el accionamiento de instrumentos, su fortaleza física sus facultades intelectuales deben considerarse como un todo indivisible que le permite pensar y actuar al mismo tiempo.

Normalmente un hombre trabaja a razón de 7 a 10 Kg-m/s, con una manivela de 5 a 1.1 Kg-m/s y de 64 Kg a 0.15 m/s cuando opera con su propio peso sobre los pedales de una noria de paletas. En un trabajo continuo produce alrededor de 8 Kg-m/s que equivalen a 0.1 cv (caballos de vapor). En operaciones de corta

duración puede desarrollar 0.4 cv. La fuerza media que un hombre puede ejercer equivale aproximadamente a una décima parte de su propio peso. Si varios hombres trabajan juntos en hilera, la fuerza desarrollada por cada uno disminuye ligeramente, ya que queda determinada por el trabajador más lento de la fila.

La fuerza física de un hombre actúa directamente, como al caminar, empujar, arrastrar, comprimir, elevar, cargar o lanzar, o indirectamente, por medio de herramientas que transmiten o multiplican su esfuerzo en múltiples formas (Hopfen, 1970).

1.2.3 Fuerza animal en relación con el tamaño

Los animales son una fuente relativamente económica de energía si los cría el propio agricultor, sobre todo cuando, además, le proporcionan otros servicios como son producción de leche, carne, estiércol y pieles.

Los animales pequeños desarrollan, relativamente, más eficiencia energética que los miembros mayores de la misma especie. Mientras que los animales voluminosos trabajan sobre todo con su peso, los relativamente ligeros, en especial los caballos pequeños, compensan esta falta de peso con nervio, tenacidad y resistencia. La eficiencia de tiro relativa de los animales pequeños es mejor porque su línea de tiro es más baja.

Las yuntas de caballos pequeños y bueyes de tiro desarrollan suficiente potencia de tiro para la mayoría de las labores requeridas en condiciones de cultivo normales. Para muchas operaciones, incluso un solo animal basta para hacer el trabajo si se le mantiene en buen estado. En el Japón, por ejemplo, las labores agrícolas, inclusive la arada se efectuaba en otro tiempo casi únicamente con animales solos. No obstante, en otras regiones los animales de tiro no siempre desarrollan la potencia que se indica (Hopfen, 1970).

El uso de una especie determinada se asocia al tipo de suelo, así en suelos muy pesados el buey es el más recomendado, mientras que en suelos muy ligeros, con la mula o el caballo es suficiente. Al igual que con el hombre, la fuerza que un animal de tiro puede ejercer es de aproximadamente 10% de su peso, variando según la especie y el punto de resistencia del instrumento. Los caballos desarrollan un esfuerzo superior al de otros animales en relación con su peso (aproximadamente 15%) y durante cortos períodos pueden desarrollar una fuerza igual a casi la mitad de su peso (Mariaca, 1997).

La línea de tiro se relaciona con el punto de resistencia: cuando ésta es más baja, es decir, cuando el ángulo que forma el ángulo de tiro y la superficie labrada es más agudo, menor será la fuerza para arrastrar los instrumentos (Mariaca, 1997).

Micuta (1993), citado por Chirgwin (1995), recomienda que el ángulo adecuado de la línea de tiro debe ser de 15°, para las diversas operaciones de tracción.

Los animales de tiro deben de poseer características de temperamento (docilidad, corpulencia, brío y rusticidad) y características físicas (proporcionalidad, abdomen, patas, cuernos, ojos, línea dorsal, cola, cuello, etc.).

Características de temperamento:

Docilidad. Esta cualidad es clave en un animal que se desee amansar.

Corpulencia. La corpulencia se relaciona con la fuerza del animal.

Brío. De esta característica dependerá el rendimiento en el trabajo.

Rusticidad. El mayor grado de rusticidad hace que el animal sea más resistente a enfermedades y a condiciones adversas del medio ambiente (alta temperatura, sequía, poca disponibilidad de comida, etc.).

Las características físicas son:

Proporcionalidad. En general, es deseable que los animales tengan patas cortas, bien conformadas, con cascos grandes y fuertes. El pecho debe de ser ancho y profundo.

Abdomen. En el caso de los rumiantes se debe evitar animales con la panza excesivamente abultada hacia los costados. Lo deseable es que el barril sea profundo.

Patas. Deben ser de hueso bien desarrollado, cortas y que terminen en cascos bien delineados y pezuñas de igual tamaño.

Cola. Debe ser muy flexible, de gran movilidad y bien implantada. La cola es un elemento importante en la defensa contra los ectoparásitos.

Cuello. Es deseable que el animal tenga cuello corto y fuerte, y la cabeza ancha.

Cuernos. Deben de ser fuertes, no muy grandes y no presentar fracturas. No es conveniente que tengan una posición muy abierta.

Ojos. Deben de ser brillantes, intensos y demostrar mucho brío.

Línea dorsal. La línea dorsal debe de ser recta desde la cruz hasta la altura de los huesos de la cadera (sacro) (Galindo, 1993).

Cuadro 1 Fuerza de tiro normal de diversos animales.

Animal	Peso medio Kg	Tiro aprox. Kg	Velocidad de trabajo m/seg	Potencia desarrollada	
				Kgm/seg	Cv
Caballos ligeros	400-700	60-80	1.0	75	1.0
Bueyes	500-900	60-80	0.60-0.85	56	0.75
Buffalo	400-900	50-80	0.80-0.90	55	0.75
Vacas	400-600	50-60	0.70	35	0.45
Mulas	350-500	50-60	0.90-1.0	52	0.70
Asnos	200-300	30-40	0.70	25	0.35

Fuente: Hopfen, 1970.

1.3 CONCEPTOS DE ESTÁTICA

1.3.1 Fuerza

En términos físicos la fuerza se define como masa por aceleración. La fuerza es toda causa capaz de modificar el estado de reposo o de movimiento de un cuerpo, o de producir una deformación en el mismo. Los elementos de una fuerza son: intensidad, dirección sentido y punto de aplicación. Para representar gráficamente una fuerza se emplean vectores, que son segmentos orientados, el módulo del vector (medida del segmento) es la intensidad de la fuerza; la dirección, el sentido y el punto de aplicación corresponden a los de la fuerza (Hunt, 1988).

Según la interacción de los cuerpos se puede hacer la siguiente clasificación: a) fuerza por contacto, son las que actúan en contacto de dos cuerpos para ejercer un movimiento; b) fuerza a distancia, son aquellas que actúan entre cuerpos que no están en contacto. Estas pueden ser la fuerza gravitatoria, las electrostáticas y las magnéticas. Siempre que se traten de fuerzas a distancias se tendrá presente el concepto de campo de fuerza, definido como el lugar o espacio donde un cuerpo cualquiera ejerce una fuerza a distancia sobre otro cuerpo (Hunt, 1988).

Los dinamómetros se utilizan generalmente para medir la fuerza cuyas lecturas se dan en kilogramos fuerzas (Kgf). Estos aparatos se fundamentan en la propiedad que tienen algunos cuerpos de ser elásticos; existen de resorte, de pletina elástica, de óvalo elástico, digitales, etc. Hay que tener presente que las fuerza aplicadas no pueden ser superiores a la carga máxima que soporta cada tipo de dinamómetro (Hunt, 1988).

La unidad de medición de la fuerza esta dada en Newton (N), que es igual a un Kgf-m/seg², además esta se representa en un una libra de fuerza que es aproximadamente 4.448 N. Un Kgf que equivale a 9.806 N es igual a la velocidad de la caída de un cuerpo, 9.806 m/seg² (Hunt, 1988).

1.3.2 Velocidad

La velocidad es una medida de qué tan rápido se mueve algo, y se determina con unidades de distancia dividida entre unidades de tiempo. La velocidad se define como la distancia recorrida de un cuerpo por unidad de tiempo. Para los vehículos de motor, o en grandes distancias se suele usar las unidades de Kilómetros por hora o millas por hora. Para distancias más cortas se usa con frecuencia las unidades de metros por segundo. La velocidad en cualquier instante es la velocidad instantánea, la velocidad promedio se define como la distancia total recorrida entre el tiempo recorrido. La velocidad constante indica velocidad constante sin cambiar de dirección. A esta velocidad se le conoce como

“Velocidad lineal”; también tenemos la velocidad tangencial o de frecuencia la cual se utiliza en la velocidad de los engranes, bandas, centrifugas, péndulos giratorios y las unidades se dan en hertz, rad/seg y rpm, (Hewih, 2004).

1.3.3 Trabajo

Se entiende como trabajo la fuerza o energía que se debe aplicar a una herramienta o implemento para desplazarlo una distancia determinada. Por lo que el trabajo mecánico se puede determinar multiplicando la fuerza por la distancia (Hewih, 2004).

Cuando levantamos una carga contra la gravedad terrestre hacemos trabajo. Mientras más pesado es la carga, o mientras más alto la levantamos, hacemos más trabajo. Siempre que se efectúa trabajo entran dos cosas: 1) la aplicación de una fuerza y 2) el movimiento de algo debido a esa fuerza. Para el caso más sencillo, cuando la fuerza es constante y el movimiento es en una línea recta en dirección de la fuerza, se define el trabajo efectuado por una fuerza aplicada sobre un objeto como el producto de la fuerza por la distancia en que se mueve el objeto. En este caso el tiempo con que se realiza el trabajo no es considerado, las unidades de trabajo y energía son similares (Hewih, 2004).

En la unidad de medición de trabajo se combinan una unidad de fuerza(N) con una unidad de distancia (m); la unidad de trabajo es el Newton-metro(N-m), que también se llama joules (J) en el Sistema Internacional. (Hewih, 2004).

1.3.4 Potencia

La potencia es el trabajo realizado por unidad de tiempo o sea, la rapidez con que se lleva a cabo el trabajo. Con el desarrollo de la máquina de vapor en Inglaterra se pudo medir las unidades de potencia. En la última parte del siglo XVIII, James Watt quiso determinar la capacidad de sus máquinas de vapor en términos de

competencia. Realizo una serie de pruebas con caballos promedio y encontró que un caballo podía sacar 366 lb de carbón de una mina con una velocidad de 1 pie/seg. En otras unidades esto era 22 000 pies-lb/min. Watts arbitrariamente incremento en un 50 % este valor para subestimar de una manera deliberada la capacidad de sus máquinas. La cifra resultante, 33000 pies lb/min ó 550 pies lb/seg, se ha usado desde entonces como la unidad básica del caballo de fuerza (HP); que equivalen a 76 Kg-m/seg, así como 1 cv= 75 Kg-m/seg. (Bueche, 1988).

Se ha denominado watt (W) a la unidad de potencia. Un watt es la potencia equivalente a un Newton de fuerza aplicada a través de un metro de distancia en un segundo. La potencia mecánica se manifiesta en dos formas. La potencia lineal ocurre cuando se ejerce una fuerza con una velocidad lineal; la potencia rotatoria se transmite a través de un cuerpo en rotación. Un caballo de fuerza en el sistema ingles equivale a 745.7 W, y un Kilowatt equivales a 1.3410 Hp, así como 1 Kg-m/seg.=9.8 W (Hunt, 1988).

1.3.5 Energía

Si un objeto puede realizar trabajo, decimos que ese objeto posee energía; la energía es la capacidad para realizar trabajo (Bueche, 1988).

Otro concepto de energía se define como algo que permite a un objeto efectuar trabajo, al igual que el trabajo la energía se expresa en Joules. La energía mecánica es la forma de energía debido a la posición relativa de cuerpos que interactúan(energía potencial), o su movimiento (energía cinética). La energía mecánica puede estar en forma de energía potencial o de energía cinética. Un objeto puede almacenar energía debido a su posición con respecto a algún otro objeto. A esta energía se llama energía potencial porque en su estado almacenado tiene el potencial de efectuar un trabajo. Las unidades de la energía potencial son las mismas que las de trabajo, Joules o libras-pie, Kcal, Kgf-m, y

kW-h. Sus equivalencias son las siguientes: 1 caloría= 4.186 J; 1 Joules = 0.7276 libras-pies; 1 kW-h= 860 Kcal, 1 Kg-m= 9.8 Joules= 2.34 cal. (Bueche, 1988).

La energía potencial de un cuerpo a causa de su posición elevada se llama energía potencial gravitacional, la cantidad de energía potencial gravitacional que posee un objeto elevado es igual al trabajo efectuado para elevarlo en contra de la gravedad. El trabajo efectuado es igual a la fuerza necesaria para moverlo hacia arriba, por la distancia vertical que sube. Una vez que comienza el movimiento hacia arriba, la fuerza hacia arriba para mantenerlo en movimiento a rapidez constante es igual a su peso mg del objeto. La energía potencial gravitacional es: $EP= mgh$. La energía cinética es igual a $Ec=1/2 mv^2$ (Bueche, 1988).

Es el trabajo que se efectúa sobre un objeto, la fuerza neta(o resultante) que actúa en él, es igual al cambio en la energía cinética causado por la fuerza. La energía química es la energía que puede liberarse de los combustibles mediante reacciones químicas, la energía eléctrica es el resultado del hecho de que las cargas eléctricas pueden efectuar un trabajo; la energía que permite a una máquina de vapor, efectuar trabajo se llama energía calorífica o térmica. La energía animal es aquella que se aprovecha de estos (bueyes, caballos, camellos, asnos, mulos, etc) para mover un implemento o carga o para mover su propio cuerpo y para desarrollar sus funciones vitales. La fuerza de tiro de un animal es directamente proporcional al peso vivo y se desarrolla aproximadamente a poco más o menos a una décima parte de éste. Es decir la fuerza necesaria para realizar un trabajo, que generalmente se puede expresar en Joules, en Kg-m, asociados a unidades de energía. La fuerza física de un hombre actúa directamente, como al caminar, empujar, arrastrar, comprimir, elevar, cargar o lanzar, o indirectamente, por medio de herramientas que transmiten o multiplican su esfuerzo en múltiples formas, se manifiesta como otra forma de energía humana (Hewih, 2004).

De todo esto se desprende el concepto de eficiencia energética de los animales definido como la razón de energía recuperada durante el trabajo desarrollado con la relación a la total energía gastada, determinada por la razón de oxígeno consumido. Se ha encontrado que la eficiencia bruta energética máxima es de hasta el 25 % (Michael, 1980).

1.4 LABRANZA

A continuación se presentan algunas definiciones de labranza:

La labranza o preparación del terreno se refiere a cualquier manipulación mecánica del suelo que altere la estructura y/o resistencia del mismo con el objetivo de proporcionar y mantener en el suelo las condiciones óptimas para la germinación y desarrollo de las plantas. Es una actividad que se realiza para poder conocer la cantidad de energía que ella requiere (Figueroa, 1999).

La labranza del terreno se entiende como el conjunto de operaciones realizadas con tracción animal o mecánica, con la finalidad de conseguir las óptimas condiciones de germinación de la semilla y desarrollo de las plantas.

Existen diferentes tipos de labranza:

Labranza primaria: es aquella que remueve y voltea el suelo para reducir la compactación, y para enterrar o mezclar materiales vegetales y fertilizantes en la capa labrada. La labranza primaria es más agresiva y profunda y permite una mayor rugosidad superficial en comparación con la labranza secundaria. Algunos implementos utilizados en la labranza primaria son: arados de vertedera, arado de cinceles, arados de disco, subsolador y rastra de discos.

Labranza secundaria: es la labranza que remueve el suelo a una profundidad menor que la labranza primaria, proporciona pulverización adicional y nivelación

incrementando la porosidad, resultando en mayores tasas de infiltración y aireación. Algunos implementos en la labranza secundaria son; rastra de discos y de púas, de dientes y flexibles, gradas, niveladoras.

Labranza mínima: comprende la manipulación necesaria para la producción de cultivo o para reunir los requerimientos mínimos de labranza bajo determinadas condiciones de suelo. Para este tipo de labranza es muy común que el productor en una misma labor surque, siembre y fertilice. Las prácticas de este tipo de labranza varían según sean los cultivos y las regiones, pero en general, tanto la preparación de la tierra para la siembra como la labranza entre cultivos es menor. El objetivo principal es disminuir costos de producción y compactación del suelo por el paso de la maquinaria. Se pueden utilizar implementos convencionales y se reduce la pérdida de humedad.

Labranza cero o no-labranza: procedimiento mediante el cual, la siembra se hace directamente y esencialmente en camas de siembra no preparadas. No se realiza ningún movimiento de suelo, se combate la maleza por medios químicos y para sembrar se utiliza un espeque, coa o pala recta. Cuando se usa una sembradora(especializada en este tipo de labranza) el suelo solo se mueve para abrir un pequeño surco de unos de 3 a 5 cm de profundidad donde se deposita la semilla. No altera la estructura del suelo, conserva la humedad y reduce la erosión.

Labranza convencional: se refiere a las operaciones combinadas de labranza primaria y secundaria que normalmente se desarrollan en las preparaciones de la cama de siembra para un área y cultivo dado. En la labranza convencional el suelo se rompe con una serie de implementos primarios diseñados para producir fragmentos de agregados y terrones de diversos tamaños. Esta preparación del suelo se completa con operaciones de labranza secundaria para pulverizar y homogeneizar la superficie del suelo, formando la cama de siembra (www.agroinformacion.com.mx).

Existe otros tipos como labranza óptima, labranza reducida, labranza en franjas y labranza de conservación (Figuroa, 1999).

1.4.1 Instrumentos de labranza y arneses

En la transformación de la naturaleza con fines agrícolas se requiere un conjunto de actividades con las que el productor proporciona a plantas y animales de interés las condiciones óptimas para su crecimiento, desarrollo y producción. Para realizarlas el hombre utiliza diferentes instrumentos, que sirven como intermediarios de su acción, son una prolongación de sus órganos naturales, y se encuentran en contacto directo con objeto a transformar; al cual le imprimen características que lo convierten en un producto útil al satisfacer una necesidad concreta (Guy, 1988).

Una de las formas de clasificación de los instrumentos de trabajo es tomar en cuenta la fuente de energía que los pone en movimiento. Así, tenemos instrumentos manuales, de tracción animal y los movidos por el motor de combustión interna. Dicha clasificación corresponde al grado de desarrollo de los instrumentos; los de tracción animal se ubican en un desarrollo intermedio, los cuales han existido desde el inicio de la utilización de los animales como fuente de fuerza hace aproximadamente 6 000 años, y a pesar del avance tecnológico existen algunos lugares del mundo en donde se continúan utilizando, México es uno de esos lugares (Guy, 1988).

1.4.2 Instrumentos de labranza primaria

1.4.2.1 Arados

De los instrumentos usados con los animales se piensa que debió ser el arado el que primero fue inventado; en el periodo entre 6,000 y 4,000 años a. C., comenzó

un proceso de modificación de los instrumentos que culminó con la invención del arado (Chirgwin, 1995),

Los arados simétricos de origen antiguo, echan la tierra uniformemente de cada lado, dejando una superficie labrada plana y uniforme. Los arados simétricos y los asimétricos tienen en común las cinco partes esenciales (Guy, 1988)

Las cinco partes esenciales de un arado simétrico

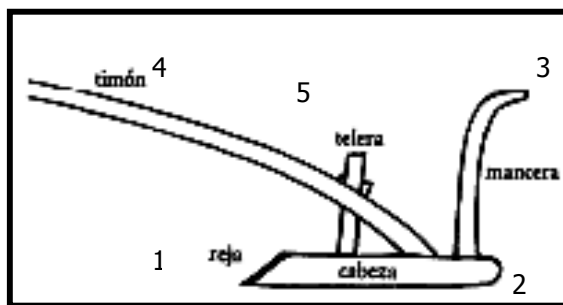


Fig. 1 Partes esenciales de un arado simétrico

La reja, generalmente hecha de hierro, que abre el suelo

El dental, que se desliza en el fondo del surco y que lleva la reja fijada en su extremidad anterior

La mancera o esteva, que el labriego tiene con su mano para mantener el arado en su posición y dirigirlo. Mancera y dental son, a veces, una sola pieza. También hay arados con las dos manceras, que se agarran con las dos manos

El timón, pieza larga, recta o encorvada, que sirve a la tracción del arado. Hay timones formados de dos piezas ligadas, una llamada garganta o cama y otra recta que es el timón propiamente dicho, y

La telera, que reúne el dental y el timón y que mantiene, entre ellos, el ángulo deseado. El tipo más antiguo de arado no tiene telera (Fig. 1).

Los arados simétricos se han clasificados en radiales, dentales y cama o castellano, dicha clasificación responde a la particularidad del diseño y la forma como se colocan las piezas de trabajo. Dentro de los dentales se encuentran las variantes de cuadrangular y triangular (Guy, 1988).

Arados de madera o simétricos. Corresponden a los arados más antiguos, a los que se les ha llamado egipcios, en México se les llama “de palo” por el material de construcción, ya que salvo la reja el resto es de maderas regionales. Por la forma como se une la cabeza y mancera, y por la disposición de telera y timón, los arados simétricos se clasifican en radial, dental y cama. En México se encuentran únicamente los dos primeros.

Arados radiales. En México se conoce comúnmente como “arado con cabeza de una pieza”. Se caracterizan porque la cabeza (dental) y mancera (esteva) de una sola pieza; razón por la que este arado es más fuerte comparado con los dentales, acodillada, sobre la cual se fijan el timón y la telera (ver Fig. 2 c). Esta pieza puede ser llamada “cabeza del arado” aunque, en varias partes de él, esta característica lo hace apto para ser empleado en suelos pesados, y puede labrar a bastante profundidad.

Arados dentales. La parte de trabajo del arado se forma de tres piezas independientes: cabeza, telera y mancera; Estas dos últimas van empotradas a la cabeza, además de sostener al timón por medio de las cuñas (ver Fig. 2 b). A semejanza con los arados radiales, los dentales pueden tener timón largo o corto, y a diferencia del anterior su uso se prefiere en suelos ligeros.

Arados triangulares y cuadrangulares. Corresponden a los arados dentales y en función de la colocación del timón, cabeza, telera y mancera, se les denomina

cuadrangulares si la forma de unión de estas cuatro piezas delimita una figura geométrica de cuatro ángulos; y triangular si la figura delimitada es un triángulo, en este caso el extremo del timón se apoya en la cabeza a la altura de la mancera. La utilización de los arados de palo puede explicarse porque abre el suelo en dos partes iguales, tienen ventajas para iniciar un surcado y, por último, debido al poco volteo del suelo, las primeras escardas de maíz o bien labores de plantas de bajo porte y especialmente hortalizas se realizan ventajosamente (ver Fig. 2 d y e). Por lo anterior, presentan ventajas para la realización de prácticas agrícolas como es el caso de preparación del terreno, surcado siembra y primera escarda.

El arado cama o “arado castellano. Está caracterizado por una pieza esencial, la “cama”, que es encorvada y muy fuerte, y se prolonga por el timón propiamente dicho. La base de la cama es atravesada por la mancera y por la parte trasera, angosta de un dental reducido. La reja, larga y plana, en forma de punta de lanza, se fija en el pequeño dental y atraviesa también la base de la cama. Generalmente, no hay telera (ver Fig. 2 a). Este tipo de arado labra a poca profundidad (Cruz, 1994).

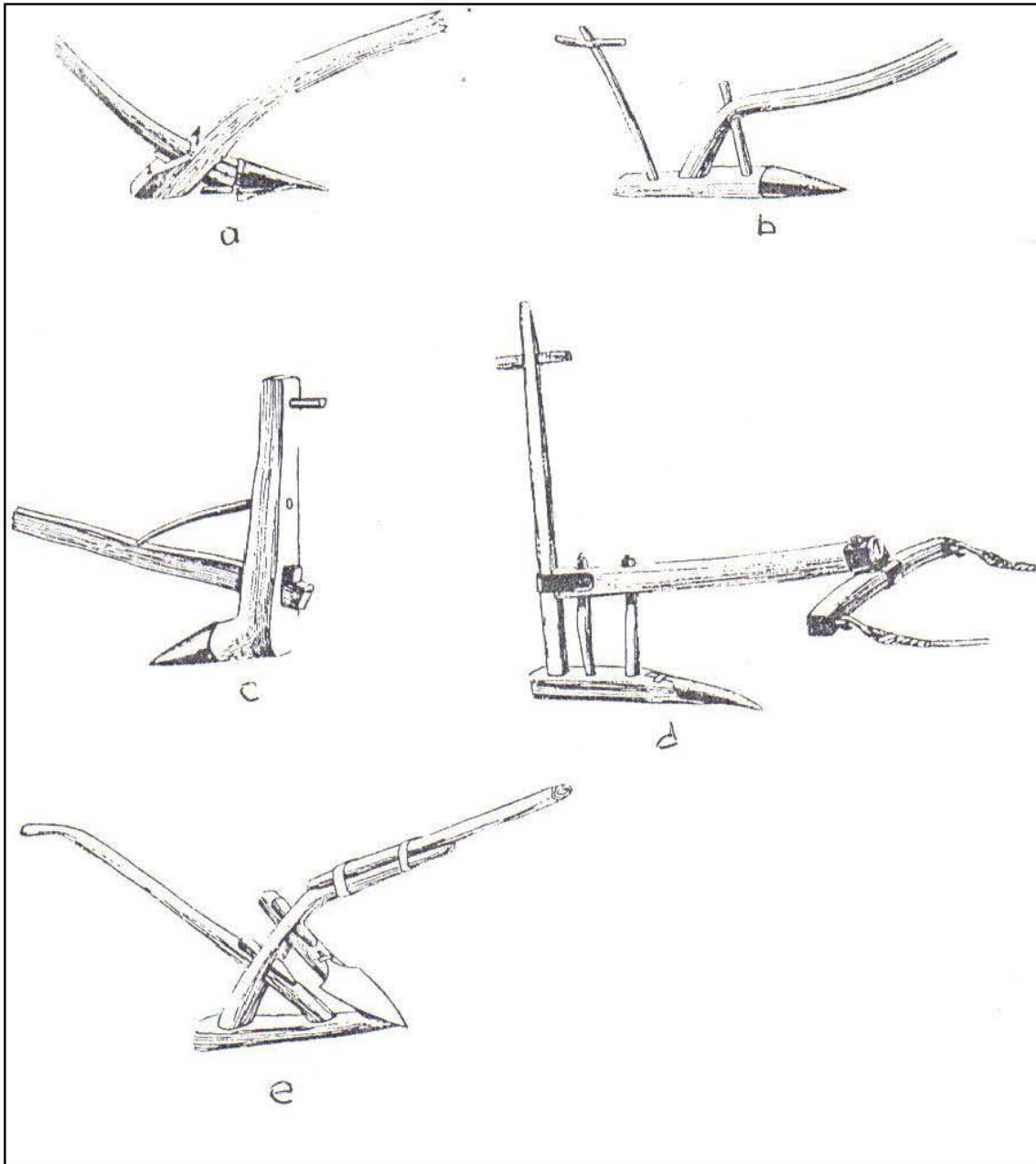


Fig. 2 Arados simétricos: (a) arado cama, (b) arado dental, (c) arado radial, (d) arado cuadrangular y (e) arado triangular.

Arados asimétricos, de hierro o vertedera. Son los instrumentos usados con mayor frecuencia para labores de roturación del suelo, ya que su diseño logra mayor profundidad, aflojamiento y volteo del suelo. Constan normalmente de un solo cuerpo, porque la potencia requerida para cortar, levantar y voltear un prisma de tierra exige a menudo el empleo de dos o tres animales. Los arados de tiro

animal son en general del tipo de una sola vía. La parte de trabajo de estos arados es metálica y sus componentes son la vertedera, reja, talón y bastidor o timón, en tanto que la mancera puede ser de madera. La reja corta el fondo del surco, están provistas de una punta debe tener una inclinación ligeramente hacia abajo, para obtener la suficiente succión vertical, tanto la punta como el borde cortante de la reja deben tener un ángulo de aproximadamente 5° respecto del fondo del surco. El talón contrarresta las fuerzas laterales y verticales que actúan sobre la vertedera. El chasis o bastidor sirve para juntar los elementos; las manceras o timón sirven para guiar el arado y la vertedera levanta, voltea y desmenuza el prisma de tierra existiendo varias formas de vertederas como son, vertedera cilíndrica; vertedera de forma universal y vertedera helicoidal. El amplio rango de la forma de la base de las vertederas de tiro animal tuvo que desarrollarse con mucho cuidado para utilizar al máximo la potencia disponible.

Las vertederas cilíndricas tienen un levante menos inclinado, su reja y su vertedera se ubican bajo un ángulo más perpendicular a la dirección de avance, en cambio las vertederas helicoidales tienen un levante más inclinado y su reja y vertedera están ubicadas bajo un ángulo menos perpendicular a la dirección de avance. En cambio las vertederas de forma universales se pueden utilizar para diferentes tipos de suelo, combinan perfectamente la pulverización y el volteo del suelo. La combinación del diseño, casa constructora y tamaño arroja un número considerable de arados de vertedera que cubre las necesidades de determinada práctica, bajo características determinadas de suelo o de las costumbres de productores (Manual para la Educación Agropecuaria, 1991).

Dentro de los principales arados de hierro se clasifican en diferentes tipos, dentro de los importantes tenemos: Mosco, Oliver, Apulco, Matador y Reversible, además existen versiones regionales construidas por herreros que responden a necesidades locales, preferencia de los productores o bien a aspectos económicos (ver Fig. 3).

Arado Mosco. Es un diseño regional que se encuentra en los estados de Michoacán, Guanajuato, San Luis Potosí, Querétaro y parte del Estado de México. Es una versión en fierro del arado de palo, la cabeza es de fierro fundido y a ella se adapta la mancera y el timón de palo construido por los propios productores.

Oliver. Corresponde al modelo estadounidense introducido en México con esa marca. Se caracteriza porque la vertedera, reja y talón son intercambiables y van sujetas a un cuerpo central. Del Oliver existen cuando menos dos tamaños. Se adapta a suelos duros y sueltos; se prefiere en labores de preparación de terrenos, surcados, siembra y primera y segunda escarda.

Arado Apulco, nacional o 19 1/2. Tiene las mismas partes que el Oliver, pero con diseños diferentes; las formas son características y salvo la reja y el talón, que pueden ser intercambiables, todas las piezas se encuentran fundidas en un cuerpo. Se menciona que fue creado para cubrir las necesidades de roturación en suelos de nuestro país. Este tipo de arado es el que presenta un número mayor de tamaños, se construyen de 5 tamaños que van de 15-30 Kg. de peso, con anchura de corte de 15 a 28 cm, diversidad con la cual se cubren necesidad específicas de surcado, dependiendo del cultivo y la práctica a realizar.

Arado tipo matador. Es un diseño distinto al resto y que corresponde al específico para terrenos arcillosos, es el único que en su totalidad está construido de fierro. La base del timón funciona como alma o telera, y a él se unen la vertedera, el talón y la reja. Es completamente metálico y su diseño le permite una mayor eficiencia en suelos arcillosos. Este arado se utilizó en campo para registrar datos de fuerza requerida para la aradura.

Arados reversibles. Son de diseño reciente, que permiten trabajar ventajosamente en suelos con pendiente profunda.

Los arados con una larga tradición de uso en México pero de menor frecuencia son el arado reversible, el arado de doble vertedera, el arado mosco y una serie de arados locales que son construidos y consumidos en el nivel regional en los estados de México, Guanajuato, Michoacán, San Luis Potosí. En el ámbito regional y para algunas prácticas y cultivos se realizan modificaciones en los arados que buscan eficiencia para realizar alguna actividad específica (Cruz, 1994).

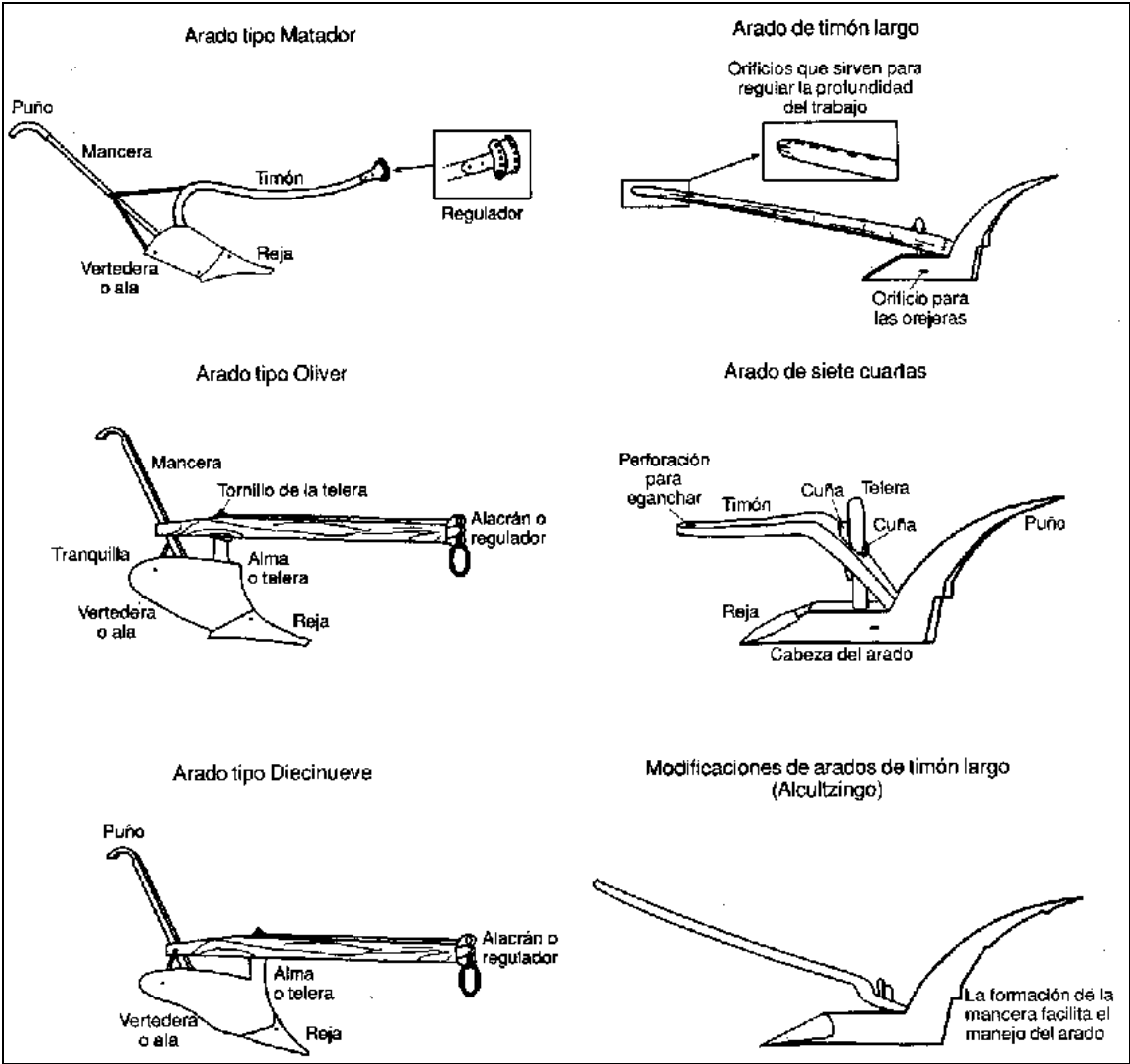


Fig. 3 Tipos de arados asimétricos y simétricos

1.4.3 Instrumentos de labranza secundaria

1.4.3.1 Rastras

El objetivo principal de la rastra después de la aradura es desmenuzar los terrones grandes y el tapado de algunas semillas (avena) así como la eliminación de las malas hierbas y romper la cubierta endurecida del suelo y airear prados.

Los cultivadores manuales son útiles para mullir el suelo y matar las malas hierbas. Los tipos más simples constan de tres a siete dientes intercambiables con aletas “pie de pato” sujetos en un cubo, mediante un tornillo. Se arrastran por el terreno mediante un mango.

Existen diferentes tipos de gradas, dentro de las cuales se encuentran la giratoria de mano la cual posee buenas propiedades de pulverización cuando el suelo no está seco y compacto; las gradas arrastradas por animales se utilizan para la preparación del terreno, para cubrir las semillas, destruir las malezas, romper la cubierta endurecida del suelo y airear prados; las gradas de peine o de rastrillo el instrumento más generalizado para enlodar arrozales inundados en el Lejano Oriente. La grada de peine exige una fuerza de tiro relativamente grande y es difícil mantener a una profundidad regular durante el trabajo y por último la grada de cuchilla es eficaz para la labranza complementaria superficial en zonas secas, porque corta las raíces de las malas hierbas bajo la superficie del terreno sin alterar indebidamente ésta, y conserva la humedad.

Dentro de las principales rastras que se utilizan tenemos; las rastras rotativas que se utilizan en grado cada vez mayor en las zonas arroceras porque exigen una fuerza de tiro relativamente escasa, pulverizan satisfactoriamente; rastra de dientes es uno de los aparatos de uso más común en la preparación del terreno en las zonas templadas se usa para igualar y nivelar los campos labrados; rastras de muelles los dientes de este instrumento se hacen de fleje de acero, generalmente de sección rectangular y curvado. Una vez fijos a las crucetas, vibran al desplazarse por el terreno. Las crucetas pueden girarse en un ángulo pequeño por

medio de una palanca y con ello regularse en consecuencia la profundidad de labor y por último las rastras flexibles se utilizan para escardar o para labores muy ligeras durante las primeras fases de desarrollo del cultivo, así como para cubrir la semilla y distribuir abonos, sembrar y airear los prados (Hopfen, 1790).

1.4.4 Arneses

Los arneses son los dispositivos a través de los cuales se transmite la potencia generada por los animales y así superar ciertas resistencias o cargas.

En forma esquemática se puede ver la relación entre el animal, el arnés y la carga que será aplicada (Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola, 1997).



Los tipos de arneses comúnmente utilizados; yugos dobles o sencillos y arneses de collera o de pechera. Los arneses modernos se tiende primordialmente a esto último, dirigiéndose los animales mediante un adiestramiento cuidadoso (Hopfen, 1970).

1.4.4.1 Yugos

Son varios los tipos de arneses comúnmente utilizados: yugos dobles o sencillos y arneses de collera o de pechera. Los yugos antiguos tenían por objeto principal sujetar y guiar los animales en una forma segura y fácil, en lugar de aprovechar al máximo la fuerza de tiro de los animales. Las dos modalidades más comunes de enganchar un instrumento al arnés son o por medio de una lanza larga y rígida, o una cuerda, unida al centro de un yugo doble, o por una vara corta conectada a un balancín con tirantes. La línea de tiro de un yugo doble es más elevada que la de una guarnición de tirantes.

La gran ventaja de esta última es que permite también enganchar el apero a un solo animal, cuando el trabajo que haya que efectuar no requiera el esfuerzo combinado de dos animales, mientras que en los arneses modernos se tiende primordialmente a estos últimos, dirigiéndose los animales mediante un adiestramiento cuidadoso.

A continuación se describen los diversos tipos de yugo doble:

Yugo doble de cuello: Este tipo de arnés es el de uso más generalizado, siendo muy común en todo el continente africano, en el Cercano Oriente, la India y Birmania y en el área del Mediterráneo, se usan normalmente para bueyes, pero en Irán, Irak y Siria se utilizan también para caballos, mulas y asnos, añadiéndose a los yugos, para amortiguar la presión, almohadillas en el caso de todos los animales y almohadillas y coderas en el de los caballos y mulos. Ver Figura 4. Sin embargo, aunque se adapta perfectamente con los animales de cuello corto, no es así con los animales de cuello largo, como la raza de cebú. Los animales de cuello largo deberán usar arneses especiales que les permitan aprovechar eficientemente la fuerza.

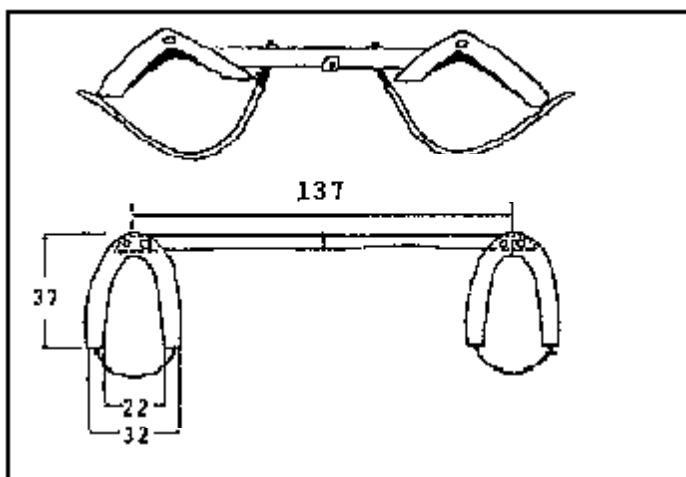


Fig. 4 Yugo doble de cuello.

Yugo doble de cabeza: Es el tipo más antiguo de arnés (ver Figura 5) . Se le sujeta o bien por delante o bien por detrás de los cuernos y sólo se adapta para animales fuertes y de cuello corto. Este yugo es originario de Mesopotámica. El yugo doble de cabeza español sirve para hacer avanzar, recular, y si es necesario, detener. Permite el completo gobierno de los animales, pero debe adaptarse a cada uno de éstos por separado. El yugo se ata a los cuernos de los animales, por lo que no es preciso fijarlo en su cuello.

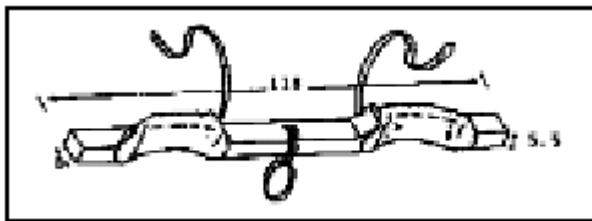


Fig. 5 Yugo doble de cabeza.

Existen otros tipos de yugos en el mundo, no utilizados en México, tales como el yugo de pechera que es un tipo particular de arnés doble, en el cual el yugo propiamente dicho se sujeta bajo el cuerpo del animal, detrás de las patas anteriores. Viene a ser una combinación entre un yugo doble y un balancín con este yugo pueden uncirse dos animales de tamaño distinto, como un asno y un camello, pero es de poca eficacia y doloroso, pudiendo causar al animal graves daños.

Cuando la energía requerida es menor para llevar a cabo las actividades agrícolas se han adaptado otros yugos como el yugo sencillo, el cual consta de dos piezas rígidas, o dos tirantes y un balancín para un solo animal y de cuatro tirantes con lanza central o sin ella y un doble balancín con compensador para yuntas. Con este yugo no es posible enganchar satisfactoriamente a un animal instrumentos de timón largo, aunque a veces, cuando se ara con camellos, se une el arado a un costado del animal. Otra versión de yugo simple es el de cabezal con tirantes del que existen dos variedades: el tipo de nuca, y el tipo frontal.

La eficiencia con que un arnés transmite la fuerza animal depende en gran parte de la forma y del lugar en que se adapte al cuerpo del animal (ver Figura 6). Los caballos, mulas y asnos presentan una constitución diferente de la de los bovinos. Estos últimos ofrecen fuertes espaldas que se mueven más libremente al caminar, pero son débiles en los pectorales (www.fao.org.mx).

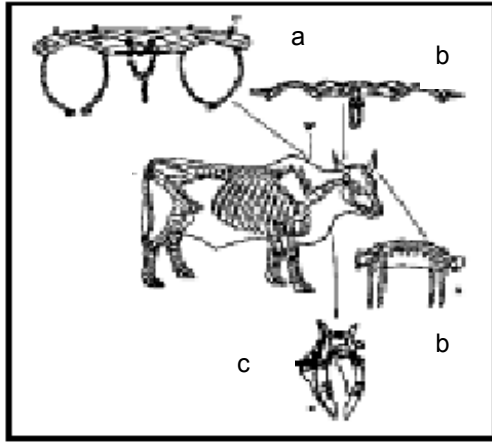


Fig.6 Diferentes tipos de yugos para buey, (a) yugo de doble cuello, (b) yugo de doble cabeza, (c) collarera de tres almohadillas

1.4.4.2 Los balancines

Otro tipo de arneses muy comunes en México y otras partes del mundo, es el balancín que constituyó el primer paso decisivo hacia el perfeccionamiento de los arneses tanto chino como occidental. Los de dos animales constan de un balancín grande (vara de guardia) y de dos balancines pequeños. De esta forma es posible equilibrar el tiro desigual de dos animales de fuerza distinta variando el punto de unión de la vara de guardia al instrumento, de manera que el animal más débil cuente con un mayor brazo de palanca para ejercer su menor tiro. (Ver Fig. 6).

Los caballos, mulas y asnos, la fuerza máxima la ejercen todos estos animales con las espaldas y el pecho, bien desarrollado, mientras que la cruz es débil y puede quedar permanentemente perjudicada por los yugos. En consecuencia,

para estos animales se han adoptado otros arneses: las colleras para tiro intenso y las pecheras para trabajos ligeros (Hopfen, 1970).

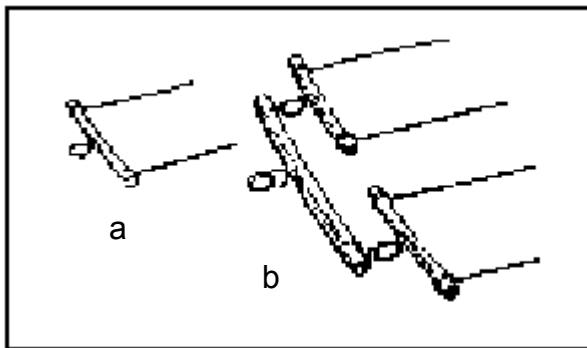


Fig.7 Balancines para (a) un animal, (b) para dos animales con dos balancines y vara de guardia.

1.4.4.3 Colleras y pecheras

A continuación se describen los diversos tipos de colleras y pecheras:

Las colleras son arneses apropiados para los equinos. Cuando se usan para unir a dos animales, se acoplan con unos balancines, los cuales tienen la función de equilibrar la fuerza desigual entre animales de diferente tamaño, y por ende diferentes fuerzas (ver Figura 7). Las colleras posiblemente se inventaron en China, y fue uno de los desarrollos más importantes de la época, lo cual permite tirar carga de mayor peso y por tiempo más prolongados durante las jornadas. Todos los tipos de colleras y pecheras son adecuados para el trabajo de animales solos, en yuntas o en tiros mayores.

Para caballos y mulas este tipo de arnés consta de un bastidor oval, de madera o metal, montado sobre las almohadillas y denominado horcate. El cuerpo de la collera suele hacerse de una sola pieza, abierta o no por su parte inferior, y debe presentar un forro blando y adaptado a la forma de los hombros de cada caballo. Para un tiro intenso, una segunda collera colocada debajo del arreo evita daños al animal. El horcate presenta ganchos, anillas o agujeros, situados ligeramente por

encima de la articulación escapular del animal para enganchar los tirantes. Este punto de unión asegura la buena adaptación de la collera al hombro cuando el caballo ejerce el tiro. Completan el arnés una sufra ajustable, un cabestro, y para lo retrocesos, una retranca ajustable (correa ancha que rodea las nalgas del animal, sujeta con otras dos correas llamadas caídas). Para vehículos con dos varas y de un solo caballo, la sufra cuenta con un sobredorso almohadillado para sujetar las varas. Las colleras son particularmente adecuadas para un tiro intenso con caballos y mulas. Para trabajos ligeros puede usarse una pechera en lugar de la collera (Hopfen, 1970).

Existe otro tipo de collera, no utilizados en México como la collera de tres almohadillas para bovinos que se perfeccionó sistemáticamente en Alemania hacia 1938, y desde entonces ha sustituido otros tipos de arneses en grado cada vez mayor en casi todos los países de Europa central. Este arreo reúne las ventajas del yugo de cruz (libre movimiento de las escápulas) y las de la collera (posición recta natural del lomo durante el tiro, a diferencia de la espalda curva con el yugo). Este aparejo de tres almohadillas consta de dos horcates de madera, con almohadillas en la porción superior para proteger las escapúlas sin impedir su movimiento. Los tirantes se enganchan a los horcates en un punto que coincide con el punto medio de las escápulas. Una tercera almohadilla que une los horcates descansa sobre la nuca del animal, frente a la cruz. Los tirantes fijados a los horcates quedan también unidos a una banda por detrás de la cruz que mantiene el arnés en posición. Cuando se utiliza una yunta para arrastrar un vehículo con una lanza central los horcates cuentan con anillas metálicas que se unen con pequeñas cadenas a la lanza para guiar el vehículo.

Las pecheras es un tipo de arnés apto para equinos y no para bovinos, los tirantes se unen a una correa ancha de cuero o de otro material que rodea el pecho del animal (ver Fig. 8). Salvo esta diferencia, la pechera es igual a la collera. La correa debe ser lo suficientemente grande y ajustarse de tal forma al animal que evite toda presión sobre la tráquea. Es más simple que la collera y se adapta bien para

trabajos que no opriman excesivamente el pecho del animal. Mecanismos de transmisión accionados por animales (www.fao.org.mx).

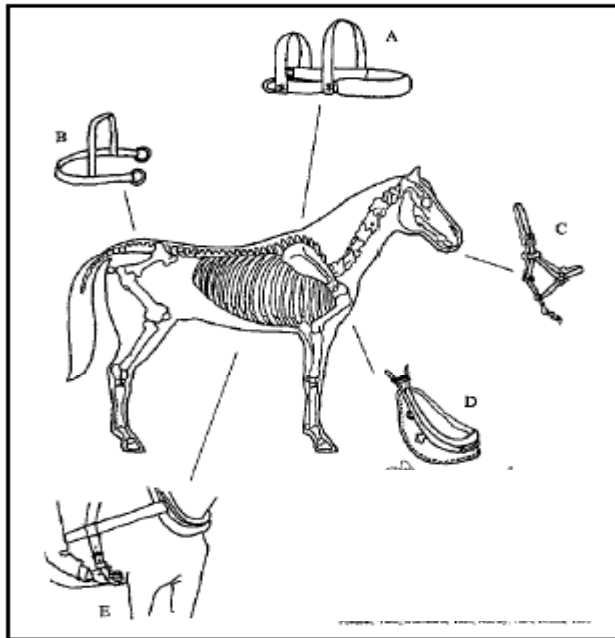


Fig. 8 Colleras y pecheras, (A) pechera, (B) correa de Braguero, (C) brida, (D) guarnición de cuello y (E) collera y horcate.

CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El trabajo experimental se llevó acabo en un terreno agrícola de 1.5 ha libre de rastrojo del municipio de Melchor Ocampo, Estado de México, ubicado en los paralelos Latitud Norte 19° 42 ´ y Longitud Oeste 99° 09´ a una altura promedio de 2240 msnm.

El territorio del municipio de Melchor Ocampo tienen las siguientes colindancias: al Norte con el municipio de Cuautitlan y Nextlalpan, al Sur con el Municipio de Cuautitlan y Tultepec, al Este con el municipio de Tultepec y Nextlalpan y al Oeste con el municipio de Cuautitlan.

La topografía del municipio es considerado como una planicie integrada por ligeros lomeríos. Su clima predominante es templado sub húmedo con lluvias en verano; su temperatura media es de 14°C; su precipitación promedio anual es de entre 500 y 600 mm y predomina un tipo de suelo Luvisol pélvico.

2.1.1 Materiales

A continuación se describen los materiales y la metodología para lograr los objetivos planteados. Para las pruebas en campo se utilizó fuerza animal, para llevar a cabo una operación de aradura, en un suelo que ha sido cultivado ciclo tras ciclo.

Arado asimétrico de tipo matador (fierro), con vertedera tipo universal, con una base para tierra negra, el ancho de la reja de 19.5cm y un ángulo de 60° con respecto a la perpendicular de la dirección de avance y un peso de 28 Kg. El enganche con el arado se realizó en el punto superior para garantizar la máxima profundidad en la aradura. Ver fig. 9



Figura 9 Arado tipo matador de fierro de uso común en la región.

Arneses tipo collera para equinos (collarines, tirantes de cadenas, horcates y balancines).

Dinamómetro digital con mediciones en escala Kgf-lbf con un trabajo límite de 1000 Kgf-2500 lbf de marca Dillon ED junior, portátil.

Un par de animales de tracción mixto los más comunes en la zona (yegua y mula). La mula tiene una circunferencia torácico de 1.05 m y una longitud de la cola al pectoral de 1.26 m. La yegua con una circunferencia de 1.0 m y una longitud de la base de la cola al pectoral de 1.16 m.

Cronómetro digital de marca Citizen LCD Quartz Watch 1/100 sec.

Plomada tipo trompo.

Cinta (longímetro) de 20 metros con subdivisiones en cm y mm.

2.2 MÉTODOS DE ESTUDIO

El trabajo se llevó a cabo en dos etapas, la primera que incluye la realización de la aradura en campo para evaluar la energía consumible con tracción animal, con la recopilación de los datos se realizó la segunda etapa que incluye los cálculos de la velocidad normal de trabajo, potencia medida en unidades de caballos de fuerza (Hp), Watts, ángulo de tiro (el grado de inclinación entre la línea de tiro y la horizontal) y energía en: Joules, kW-h y Kilocalorías.

2.2.1 Velocidad normal de trabajo

Se marco una distancia de 100 m lineales utilizando un longímetro de 20 m, el tiempo se midió con un cronómetro de mano en cada vuelta, esto se llevó a cabo con 15 repeticiones (surcos) para obtener un promedio del tiempo que tarda en recorrer dicha distancia. Durante el recorrido de los animales se tomaron datos de profundidad de trabajo y ancho de trabajo, método reportado por Hewih, 2004 para determinar la velocidad constante, según la fórmula 1.

Para calcular la velocidad de avance se utilizo la siguiente formula:

$$V = d/t \dots\dots\dots (1)$$

Donde :

V= Velocidad de avance (m/seg.)

d = Distancia (m)

t = Tiempo (seg.)

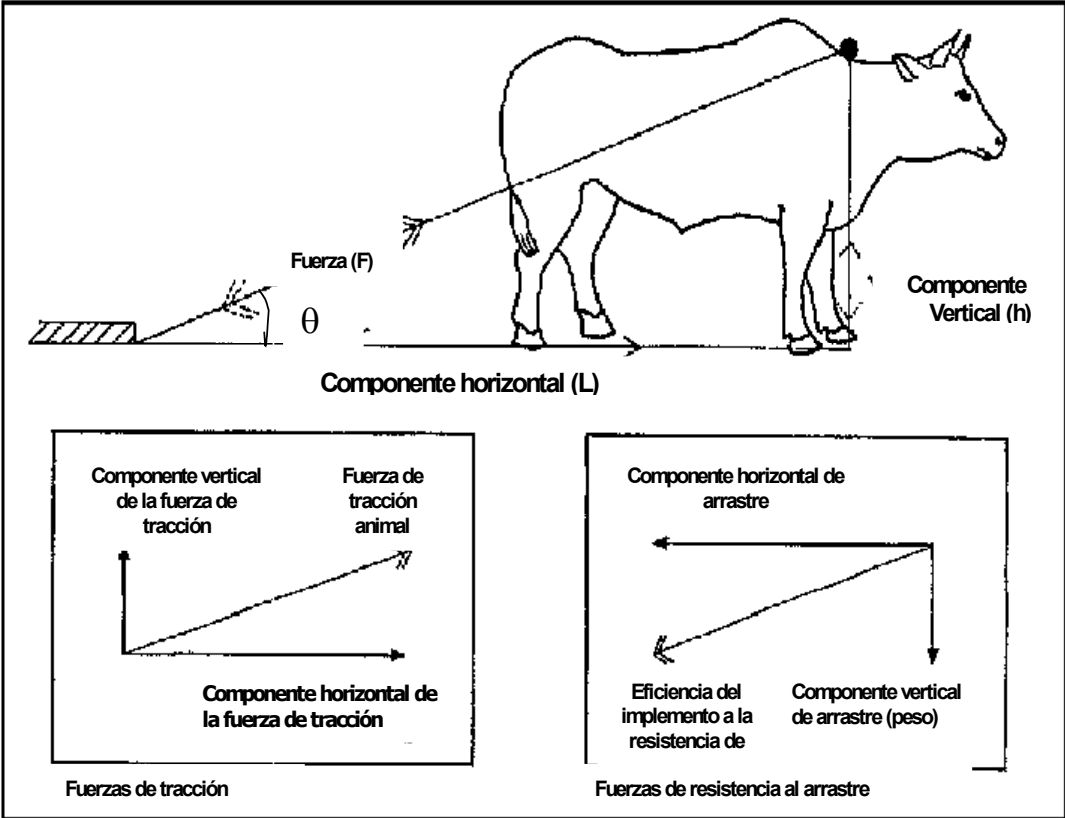
2.2.2 Ángulo de tiro

La determinación del ángulo de tiro, se llevó a cabo cuando los animales se encontraban en descanso, utilizando una plomada para medir la altura (h) del punto de enganche con respecto al suelo. Con el longímetro partiendo del punto

de referencia de enganche en línea horizontal con el suelo se midió la distancia con el arado (L) ó inicio de movimiento del suelo, esto se llevó acabo para los dos tipos de animales, método reportado por Pearson, 1995 tomado de Starkey, 1989 (ver Fig. 10), según la fórmula 2.

El ángulo de tiro se calculo con la formula correspondiente:

$$\theta = \text{tag}^{-1} \frac{\text{componente vertical (h)}}{\text{componente horizontal (L)}} \dots\dots\dots (2)$$



Componentes verticales y horizontales de las fuerzas de arrastre. Starkey, 1989.

Fig. 10 Componentes verticales y horizontales de la fuerza de arrastre. Starkey, 1989.

2.2.3 Fuerza de tracción

Para esta prueba se utilizó un Dinamómetro digital con mediciones en escala Kgf-lbf con un trabajo límite de 1000 Kgf-2500 lbf de marca Dillon ED junior, portátil, enganchándose con el arado y el balancín grande (vara de tiro). Durante el recorrido de los 100 m se tomaron lecturas por cada 12 metros, de los cuales se saco un promedio, obteniéndose 8 lecturas por surco por 15 repeticiones, midiendo la fuerza en Kgf, tratando de obtener un muestreo de datos lo mas representativo en el terreno (ver Fig. 11).



Fig. 11 Punto de enganche del dinamómetro digital con la vara de guardia y el arado.

2.2.4 Cálculo de la potencia

La potencia de trabajo se calculó con la formula (3):

$$P= [F]*V (3)$$

Donde:

P= potencia, Watts

F= Fuerza, Kgf ó [N]

V= Velocidad; m/seg.

1 Hp= 76 Kgf-m/seg

2.2.5 Cálculo de la energía

La energía se calculó partiendo del concepto de potencia que es la rapidez con la que se desarrolla el trabajo, $1 \text{ W} = \text{N-m/seg.}$ o sea el trabajo de 1N-m que se realiza en un segundo, lo que equivale a la energía efectuada. Misma que se puede calcular en una hora acumulada, utilizando las siguientes conversiones:

Unidades de la energía (trabajo); Kcal; kW-h; Joules

1Joules = 3600 Watts/h.

1kW-h = 3600 KN-m

1 Kcal = 4186 Joules

1Kcal= 426.5. Kg-m

2.2.6 Textura y porcentaje de humedad

Para determinar la textura se llevó acabo durante la labranza, tomando de tres a cinco muestras por surco (aproximadamente 200 g por cada una) a una profundidad de trabajo de 15 cm., cada muestra se llevó a punto de saturación tomándose una muestra de cada una manipulándose para moldearse haciendo tiras y por medio del tacto se determinó la textura apoyándose de unas tablas llamadas textura al tacto.

Con respecto al porcentaje de humedad se llevó acabo durante la labranza tomando 8 muestras por las 15 repeticiones a una profundidad de trabajo de 15 cm., Cada muestra fue de aproximadamente 50 g, colocándose en papel aluminio y se trasladaron al laboratorio, en donde se determino el peso húmedo en cada

muestra y se llevaron a estufa de secado por aproximadamente 24 hrs. a 105°C, se sacaron las muestras para pesarlas y por diferencia de pesos se determinó el porcentaje de humedad en el suelo en ese momento, métodos reportados por Valencia C., Hernández B., 2002.

2.3 UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

El terreno tiene una superficie de 1.5 Ha, donde se llevó a cabo la aradura, cubriendo una superficie de 555 m² equivalente a 15 surcos de 100 m cada uno con un ancho de trabajo de 0.37 m y una profundidad en promedio de trabajo de 0.15 m. Los datos arrojados del dinamómetro en Kgf (Kilogramos fuerza) se analizaron utilizando el polígono de frecuencias (estadísticas descriptiva).

La distribución de la prueba dentro del terreno quedó como se muestra en la figura. 12.

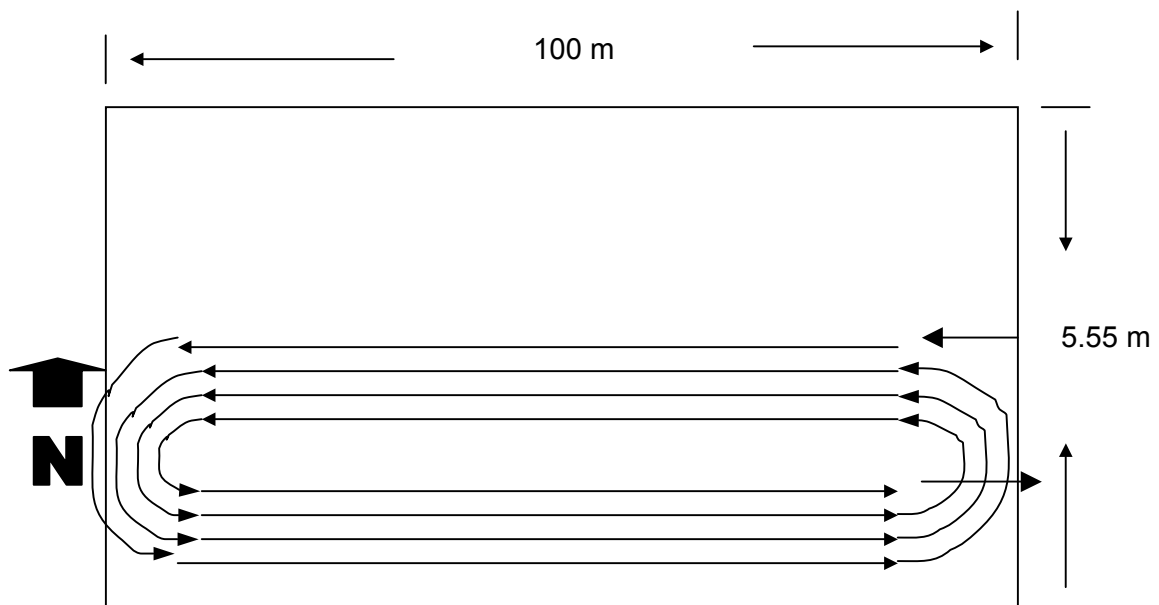
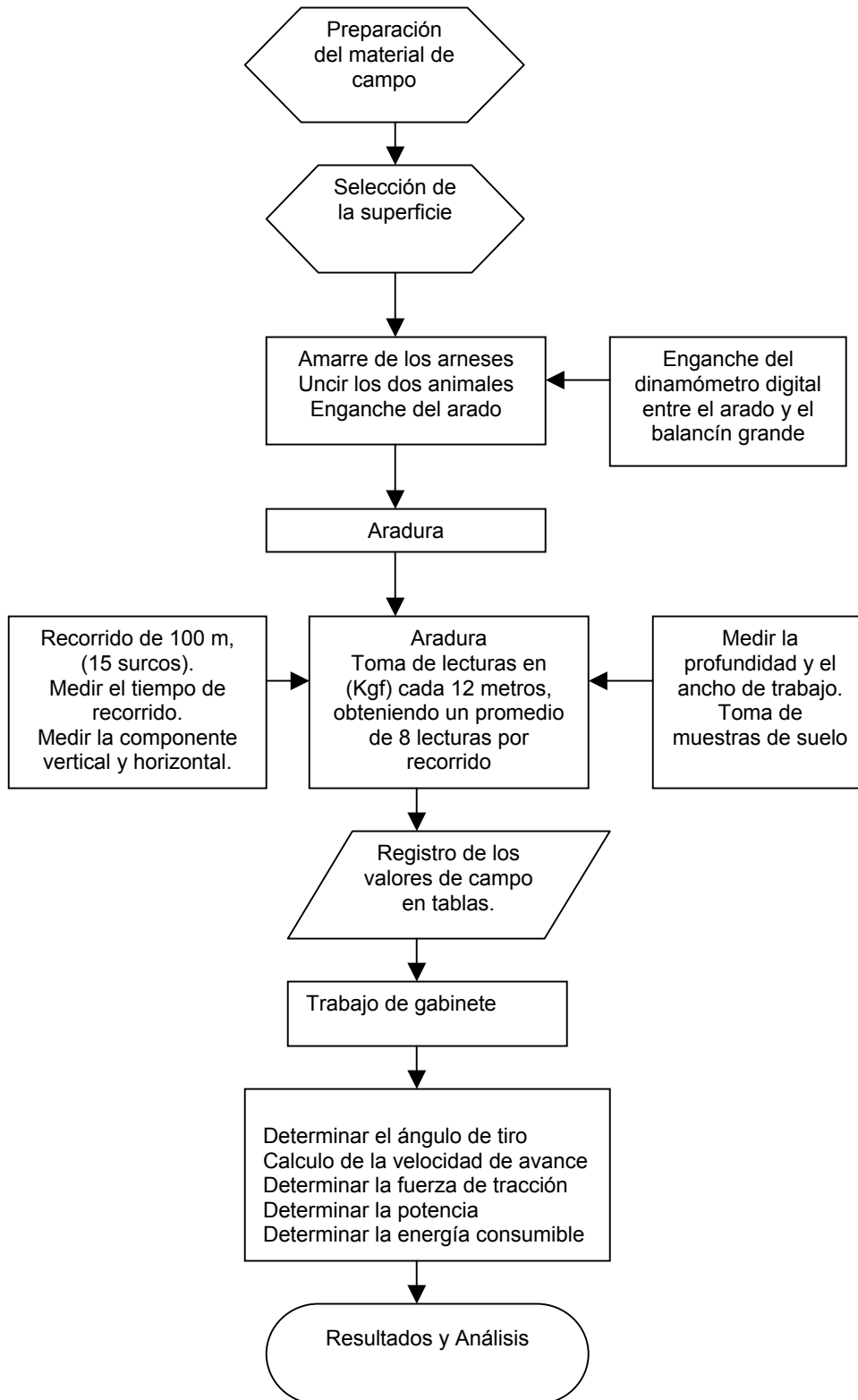


Fig.12 Patrón de movimiento: campo dividido en melgas desde los extremos.

2.4 DIAGRAMA DE FLUJO



CAPITULO III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las pruebas de campo son los siguientes:

3.1 VELOCIDAD DE AVANCE PROMEDIO

En el cuadro 2 se observa que un par de animales trabajan a una velocidad de avance promedio de 0.91 m/seg partiendo del concepto de velocidad lineal que es el resultado de la distancia que se recorre en determinado tiempo, obtenido después de muestrear 15 surcos.

Cuadro 2 Velocidad de avance

No. Surco	Distancia (m)	Tiempo (seg)	Velocidad (m/seg.)
1	100	110	0.9
2	100	105	0.95
3	100	107	0.93
4	100	105	0.95
5	100	115	0.86
6	100	110	0.9
7	100	107	0.93
8	100	105	0.95
9	100	115	0.86
10	100	105	0.95
11	100	105	0.95
12	100	107	0.93
13	100	120	0.83
14	100	105	0.95
15	100	105	0.95
Promedio	100	108	0.91

3.2 ÁNGULO DE TIRO

El cuadro 3 muestra que existe una diferencia del ángulo de tiro de los dos animales que es el grado de inclinación entre la línea de tiro que va desde el punto de enganche del horcate hasta el centro de resistencia del arado y con respecto a

la horizontal del suelo. Sus componentes son la longitud horizontal y altura de enganche vertical como se observa en la figura 10. La diferencia de ángulos de tiro se debe a las diferencias de altura entre los animales. El ángulo de tiro promedio obtenido fue de 19.5°

Cuadro 3 Angulo de tiro

Animal	h m.	D m.	Angulo de Tiro ∅
Mula	1.16	3	21°
Yegua	1.02	3	18.7°
Promedio	1.09	3	19.5°

3.3 FUERZA DE TRACCIÓN

En el cuadro 4 se registran las lecturas tomadas del dinamómetro digital de la fuerza de tracción en (Kgf) durante una operación de labranza por cada surco o melga que nos indica que tanta resistencia al corte especifica presentó el suelo al momento de introducir el arado y obtener un promedio de los mismos.

Cuadro 4 Fuerza de tracción registrada

No.de surco	Fuerza (Kgf)								Promedio (Kgf)
1	95	100	81	113	121	84	91	89	97
2	105	112	86	77	84	100	126	130	103
3	95	90	85	126	100	102	70	90	95
4	92	108	91	108	105	65	101	120	99
5	90	129	102	89	90	70	125	78	97
6	90	100	86	103	107	91	77	86	93
7	82	97	101	122	79	164	112	105	108
8	79	89	125	127	131	118	110	115	112
9	123	140	91	82	102	81	71	88	97
10	111	107	123	85	91	100	113	156	111
11	92	96	104	115	83	75	91	83	92
12	242	250	226	194	170	192	190	220	211
13	202	104	246	170	192	205	214	230	195
14	224	238	230	152	226	270	246	170	220
15	230	214	248	230	216	250	194	192	222
						Promedio total			130.133

Debido a que la fuerza de tracción no es uniforme, se realizó una agrupación de valores de la misma con el objeto de conocer el rango de fuerza de mayor uso. En el cuadro 5 se observa que la mayor frecuencia de la fuerza de tracción utilizada por un par de animales para una operación de labranza es entre 637.39-1140.95 N, seguramente es debido a que el suelo no ofreció una mayor resistencia específica al corte por que ha sido labrado ciclo tras ciclo.

Cuadro 5 Frecuencia acumulada en N y Kgf en una labranza

Rango de fuerza (Kgf)	Rango de fuerza (N)	Frecuencia	Frecuencia acumulada	Frecuencia relativa
65-91	637.39-888.67	32	32	0,26
91.1-118	889.67-1140.95	40	72	0,33
118.1-145	1141.95-1393.23	15	87	0,125
146.1-172	1394.23-1645.51	3	90	0,025
173.1-199	1646.51-1897.79	7	97	0,058
200.1-226	1898.79-2150.07	6	103	0,05
227.1-253	2151.07-2402.35	11	114	0,09
254.1-280	2403.35-2654.63	6	120	0,05

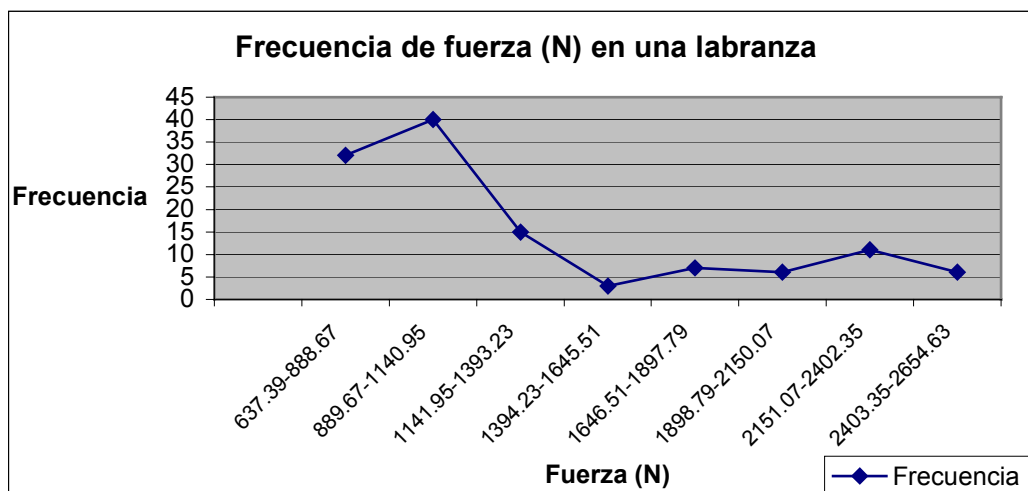


Fig. 13 Polígono de frecuencia de la fuerza en (N) en una labranza con tiro animal

3.4 POTENCIA Y ENERGÍA

El cuadro 6 muestra los valores calculados de la potencia y energía. Los dos animales desarrollaron una potencia promedio de 1.161 kW. Dicha potencia desarrollada sirve para cortar, levantar y voltear un prisma de tierra y en este caso

los dos animales son suficientes para esta labor. En este caso el consumo de energía promedio fue de 998.968 Kcal, al realizar una operación de aradura en un lapso de tiempo de una hora de trabajo efectivo. Los valores se presentan en diferentes unidades equivalentes en HP, para tener una referencia del origen de esta y en kW por ser las unidades internacionales.

Cuadro 6 Potencia y energía

No. surco	Fuerza		Potencia				Trabajo		
	Kgf	N	Kgf-m-seg	Watts	HP	kW	kW-h	KJ/h	Kcal
1	97	951,182	87	856,063	1,164	0,856	3081,829	3081,829	736,881
2	103	1010,018	98	959,517	1,3	0,959	3454,261	3454,261	822,977
3	95	931,57	88	866,36	1,178	0,866	3118,896	3118,896	745,744
4	99	970,794	94	922,254	1,254	0,922	3320,115	3320,115	793,856
5	97	951,182	83	818,016	1,112	0,818	2944,859	2944,859	703,962
6	93	911,958	84	820,762	1,116	0,82	2954,743	2954,743	706,494
7	108	1059,098	100	984,914	1,339	0,984	3545,692	3545,692	847,793
8	112	1098,272	106	1043,358	1,418	1,043	3756,09	3756,09	897,678
9	97	951,182	83	818,016	1,112	0,818	2944,859	2944,859	703,962
10	111	1088,466	105	1034,042	1,406	1,034	3722,553	3722,553	890,082
11	92	902,152	87	857,044	1,165	0,857	3085,359	3085,359	737,514
12	211	2069,066	196	1924,231	2,616	1,924	6927,232	6927,232	1656,084
13	195	1912,17	162	1587,101	2,158	1,587	5713,563	5713,563	1366,143
14	220	2157,32	209	2049,454	2,786	2,049	7378,034	7378,034	1763,704
15	222	2176,932	211	2068,085	2,812	2,068	7445,107	7445,107	1780,164
Promedio	130,133	1276,087	120	1161,239	1,578	1,161	4180,461	4180,461	998,968

Potencia Mínima: 0.818 kW	Trabajo Mínimo: 2944.859 KJ/h	Trabajo Mínimo: 703.962 Kcal
Potencia Máxima: 2.068 kW	Trabajo Máximo: 7445.107 KJ/h	Trabajo Máximo: 1780.164 Kcal
Potencia Media: 1.161 kW	Trabajo Medio: 4180.461 KJ/h	Trabajo Medio: 998.968 Kcal

CAPITULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Velocidad de avance promedio

Los resultados obtenidos de la prueba de velocidad de avance según Cuadro 2 en donde se obtuvo una velocidad promedio de 0.91 m/seg. Este valor está dentro de los parámetros de las pruebas que reporta la literatura de acuerdo al Cuadro 1. Si se compara la velocidad de trabajo de los equinos con los bovinos encontraremos diferencias de 0.1 m/seg, esto nos indica que se utilizara mayor jornada de trabajo para una hectárea en los bovinos.

Existe una reducción de velocidad del 10% con respecto a los datos reportados por la FAO, posiblemente se debe a que los caballos de nuestro país son menos corpulentos que los Europeos, de donde se reporta la información.

A medida que avanza la jornada de trabajo se espera una baja en la velocidad debido al cansancio a que se someten los animales. Esto afecta directamente el rendimiento de la potencia y en consecuencia el consumo de energía.

Angulo de tiro

Se obtuvo un ángulo de tiro según el Cuadro 3 para la yegua de 18.7° y la mula de 21° obteniéndose un promedio 19.5°. Esta variación del ángulo se debe a que la mula tiene mayor altura que la yegua, con una diferencia de 14 cm. Este valor se encuentra dentro de lo reportado por Mariaca, 1997 sobre el punto de resistencia que se relaciona con la línea de tiro, cuando ésta es más baja, es decir, cuando el ángulo que forma la línea de tiro y la superficie labrada es más agudo, menor será la fuerza para arrastrar los instrumentos y el esfuerzo será menor. Estos ángulos están muy por encima del recomendado por Micuta, 1995 citado por Chirgwin, 1995 que es de 15° pero él considera este dato para las especies bovinas, cuyos animales agachan la cabeza durante la tracción, reduciendo el ángulo de tiro. Una

forma de reducir el ángulo de tiro es alargando los tirantes que conforman la línea de tiro. Principio que debería experimentarse para conocer el efecto que tiene en la tracción.

Fuerza de tracción

Para la fuerza de tracción de los animales se obtuvieron una mayor tendencia con valores dentro del rango del 65-91 (Kgf), así como dentro del rango del 92-118, en menor grado valores dentro del rango de 227-253. Los esfuerzos desarrollados que van de 65-118 Kgf fueron los que mayor se registraron, mostrando que el suelo expuso una resistencia específica al corte no alta, por que el campo ha sido labrado año tras año. Los valores altos nos pueden indicar que algunas partes del terreno se encontraban compactadas por el paso de maquinaria, o porque existen obstáculos (piedras y rastrojos), según figura 12. Si se comparan los datos obtenidos del experimento con los valores del Cuadro 1 reportado por la literatura sobre la fuerza de tracción, se observa que este par de animales desarrollan menor fuerza de tracción por debajo de los 75 Kgf.

Potencia

En la potencia según cuadro 6 se obtuvieron valores de; 2.069 Kw como máximo de potencia, 0.818 Kw como potencia mínima, dando un promedio de 1.161 Kw. La potencia media en caballos de fuerza (Hp) fueron de 2.812 Hp como máxima y 1.112 Hp como mínima, con promedio de 1.161 Hp. Para el caso de los valores en Watts se obtuvo un valor máximo de 2068.085 Watts, mínima 818.016 Watts, y como promedio 1161.239 Watts.

Estos valores obtenidos, no se encuentran dentro del rango reportado por la literatura en el cuadro 1 ($75 \text{ Kgf-m-seg.} = 735.45 \text{ Watts} = 0.986 \text{ Hp}$) ya que los datos arrojados son mayores a los obtenidos en dicho cuadro. Este valor es de un solo animal, en el experimento se utilizaron 2 animales.

Energía o trabajo

Se obtuvieron valores de energía máxima de 7445.107 kW-h, 2944.859 kW-h como mínima y un promedio de 4180.461 Kw-h. Para las unidades en kilocalorías un valor máximo de 1780.164 Kcal, el mínimo de 703.962 Kcal y en promedio 998.968 Kcal. Al comparar esto con el consumo de una familia de 4 habitantes en donde se consume una energía en promedio de 170 kW-h, con la cantidad de energía promedio que se genera de los animales se podría cubrir el consumo bimestral de 24 casas con 4 habitantes cada una bimestralmente.

Si se requiere de 15 horas de trabajo efectivo durante la jornada para concluir una hectárea para una aradura, entonces se consumiría una energía equivalente a 2250 kW; que si se calcula el costo de energía eléctrica, representa un costo de \$ 6,000/00 M.N.

Sin embargo, la eficiencia energética de los animales se estima en un 25 %, lo cual significa que los animales gastan 4 veces más energía que la calculada, es decir 16721.844 kW-h. Energía que el animal emplea para mantener su funcionamiento vital como: mover su propio peso, respirar, comer, funciones metabolismo, etc.

CAPITULO IV. CONCLUSIONES

1. Se cumplió con los objetivos planteados del trabajo obteniendo las siguientes conclusiones:
2. Con una fuerza de tracción entre 65 a 118 Kgf fue suficiente para una buena aradura caminando a una velocidad normal de trabajo.
3. Los niveles de energía consumible en esta operación de labranza pueden cubrir el consumo equivalente a 5 casas con 4 habitantes.
4. El ángulo de tiro promedio se encuentra fuera de los límites establecidos por la literatura siendo de 15° , lo que hace que la eficiencia de tracción no sea la adecuada.
5. La potencia desarrollada por el par de animales fue baja, esto se debió a la influencia de las características físicas del suelo favorables.
6. Dos pares de animales son suficientes para desarrollar una operación de labranza en un terreno que ha sido trabajado ciclo tras ciclo.

LITERATURA CITADA

1. Arcos, A. C. 1977. Los trabajos sobre tecnología alternativa en tracción animal desarrollados por la dirección general de desarrollo rural de la SAGAR, Memoria del Seminario Nacional de Animales de Trabajo. UAEM, Toluca, Méx.
2. Bueche, F. 1988. Fundamentos de Física. 2 ° Edición. Ed. McGraw-Hill. Méx. D.F.
3. Concalves, B. Ribeiro, A. M. 1976. Física General. 29° Edición. Ed. Harla. México. D.F.
4. Campos, S. G., Cadena, Z. M. y Turrent, F. A. 1997. Implementos agrícolas de tracción animal desarrollados por INIFAP para el tópicó húmedo mexicano. Memorias de Seminario Nacional de Animales de Trabajo. UAEM, Toluca, Méx.
5. Chirgwin, J. C. 1995. Los Animales de Trabajo y el Desarrollo Sostenible. Revista Mundial de Zootecnia. FAO Edición 50 Años. 1995.
6. Chirgwin, J. C. 1995. Improvements in the use work animal; Recents trends, Presentado en el taller sobre potencia animal para incrementar la eficiencia y sustentabilidad de la agricultura. Universidad Khon Kaen, Tailandia.
7. Cruz, L. A. 1989. Los instrumentos agrícolas en la zona central de Veracruz. UACH. México.
8. Cruz, L. A. 1994. Tracción animal en la agricultura de México. Tesis de MC. Colegio de posgraduados. Chapingo, México.

9. Cruz, L. A. 1997. Perspectivas de la fuerza de tracción animal en el medio rural mexicano. Memorias del Seminario Nacional de Animales de Trabajo. UAEM, Toluca, Méx.
10. Cruz, L. A. 1997. Y sigue la yunta andando. UACH, Chapingo, Méx.
11. CTA, 1992. Technical Center of Agricultura and Rural Cooperation, The Netherlands. Tools for Agriculture. A guide to appropriate equipment for smallholder farmers. Fourth edition.
12. CTA, 1997. Technical Center of Agricultura and Rural Cooperation, The Netherlands. Animal traction and small-scale mechanization. SPORE No. 69 june 1997.
13. Figueroa, S.B. 1999. Manual de producción de cultivos con labranza de conservación. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
14. Galindo, W.F. 1993. Criterios de selección y pauta para el adiestramiento de animales de trabajo. CIPAV-Cali, Colombia.
15. Gifford, R. C. 1992. Ecología de la máquina. Para que la mecanización tenga éxito debe ser colocada en un contexto realista. CERES. Revista de la FAO. No. 135 vol. 24 No. 3 mayo-junio 1992
16. Gómez, G. C. 1986. Evaluación económica del costo real de producción de maíz, bajo dos sistemas semi-mecanizados en el Ejido Ojite de Matamoros, Veracruz. Tesis de Licenciatura. FES-C. UNAM.
17. Guy, Stresser-Pean. 1988. El arado criollo. México y América Central. Instituto Francais de Amerique Latine.

18. Hewitt, P.G. 2004. Física Conceptual. 9° Edición. Ed. Pearson Addison Wesley. Traducción. México. D. F.
19. Hopfen, H. J. 1970. Aperos de labranza para las regiones áridas y tropicales. FAO. Roma.
20. Hunt, 1988. Manual de Máquinaria Agrícola. Tomo I. Ediciones Ciencia y Técnica, S.A. México.
21. Mariaca, R. 1997. ¿ Qué es la agricultura?. UACH.-UAEM. Coedición 18° .
22. Manual para Educación Agropecuaria, 1991. Área mecánica agrícola, Arados de rejas. Editorial Trillas-SEP
23. Memoria de 7 Congreso Nacional de Ingeniería Agrícola. Universidad Autónoma “ Antonio Narro “ UAAAN. Buena Vista, Saltillo Coahuila. 22-25 Oct. 1997. Asociación Mexicana de Ingenieros Agrícolas.
24. Memoria del Foro Nacional Sobre Empleo de Animales de Trabajo en la Agricultura y el Desarrollo en la Agricultura. Morelia, Michoacán. Del 27-29 de Noviembre de 1997.
25. Michael, R.G., et al. 1980. Animal Traction Guidelines for Utilization. Cornell International Agriculture Mimeo. Cornell University, Ithaca, New York.
26. Ortiz-Cañavate, J., Hernández, J. L. 1989. Técnica de la mecanización agraria. Ed. Mundi-Prensa. Madrid España.
27. Pearson, R. 1994. Draft Animal Power. Encyclopedia of Agricultural Science, Volume 1. 1994.

28. Pearson, A. 1995. Animal Production and Rural Tourism in Mediterranean Regions. Proceedings of the International Simposium on Animal Production and Rural Tourism in Mediterranean Regions. Evora, Portugal 10-13 October 1995. EAAP Publication No. 74, 1995
29. Pearson, A., Nengomasha, E. M. and Krecek, R. C. 1995. The challenges in using donkeys for work in Africa. ATNESA Workshop "Meeting the Challenges of Animal Traction". 4-8 December 1995. Ngong Hill, Kenya.
30. Pearson, A., Nengomasha, E. M. and Krecek, R. C. 1997. Improving the management of donkeys in Africa B issues, experiences and opportunities.
31. Preston, T. R. y Leng, R. 1989 Ajustando los Sistemas de Producción Pecuaria a los Recursos Disponibles: Aspectos Básicos y Aplicados del Nuevo Enfoque sobre la Nutrición de Rumiantes en el Trópico.
32. Síntesis Geográfica del Estado de México, INEGI 1996.
33. Starkey, P. H., Goe, M. R. y Faye, A. (el eds) 1989. La tracción animal para el desarrollo agrícola. Los procedimientos de taller sostuvieron 7-12 el 1988 de julio, Saly, Senegal. El Centro del Ganado internacional para África (ILCA), Addis Ababa, Etiopía. (F/E). (en la preparación).
34. Ullón T. O. 1980. Apuntes de maquinaria agrícola II. UACH, México
35. Valencia, C. E., Hernández, B. A. 2002. Muestreo de suelos. Preparación de muestras y Guía de campo. UNAM. Facultad de Estudios Superiores-Cuautitlan. Cuautilan Izcalli, Estado de México.
36. www.agroinformacion.com.mx

37. www.fao.org.mx

APÉNDICES

Cuadro 1 Humedad del suelo

No. Muestra	Peso humedo gr.	Peso seco gr.	Humedad %
1	50.3	43.1	16.7
2	64.9	52.1	24.5
3	55.8	48.7	14.5
4	50.8	45.8	10.9
5	53.9	48	12.2
6	70.2	60.7	15.6
7	44.9	38.4	16.9
8	54.8	46.5	17.8
Promedio	55.7	47.9	16.1

* Suelo: Arcilloso-
Arenoso.

* Textura al tacto

Abreviaturas

rad/seg= radianes sobre segundo

rpm= revoluciones por minuto

lb= libras

lb/seg= libras sobre segundo

Kg-m/seg= kilogramo-metro sobre segundo

cv= caballo de vapor

lb/min= libras sobre minuto

W= Watts = 1 N*m/seg

HP= caballos de fuerza

Kcal= kilocaloria

Kgf-m= kilogramo fuerza-metro

Kw-h= kilowatts-hora

EP= energía potencial

m= masa

g= fuerza de la gravedad

h= altura

Ec= energía cinética

V= velocidad