

## REQUERIMIENTOS DE ENERGIA EN OPERACIONES DE LABRANZA CON IMPLEMENTOS DE DISCOS

CARLOS J. RINCON C.\*  
DANIEL RODRIGO PIEDRAHITA V.\*\*

### RESUMEN

Este trabajo trata de establecer lo siguiente:

- Determinar los requerimientos de fuerza de tiro y potencia en operaciones de arado y desterronamiento con implementos de discos.
- Establecer los rangos de humedad del suelo y velocidad de aplicación del implemento para suelos de diferentes texturas con el fin de obtener un nuevo aprovechamiento de la fuente de potencia.
- Con base en los datos de campo, establecer mediante modelos matemáticos las relaciones existentes entre la fuerza de tiro y su respectiva potencia con los parámetros de humedad del suelo y velocidad de operación del implemento.

A pesar del uso intensivo de estos equipos en operaciones de labranza, aún no se han hecho estudios a nivel nacional del comportamiento de los mismos para las diferentes condiciones de suelos en épocas de preparación.

En términos generales se encontró que en la arada, para suelos de textura fina (pesados) hay una tendencia más pronunciada al incremento en la fuerza de tiro a medida que aumenta la humedad del suelo, que en los suelos moderadamente pesados y en los livianos. En el caso de los rastrillos las diferencias en el comportamiento son menos pronunciadas.

---

\* Ingeniero Mecánico, M.S. Programa de Maquinaria Agrícola. Instituto Colombiano Agropecuario ICA, Tibaitatá.

\*\*Ingeniero Agrícola. Profesor Asistente Sección Mecanización Agrícola, Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional, Seccional Medellín.

Con el objeto de obtener una relación matemática entre las variables se analizaron varios modelos matemáticos de los cuales el que presentó un mayor ajuste fue:

$$\ln F = b_0 + b_1 \ln V$$

donde:

F = Fuerza de tiro por unidad de ancho (KN/m)

V = Velocidad de operación (m/S)

$b_0$  y  $b_1$  = Coeficientes de regresión.

La relación correspondiente para potencia requerida en las operaciones de la labranza fue:

$$\ln P = b_2 + b_3 \ln V.$$

donde:

P = Potencia por unidad de ancho (KW/m).

Para la resistencia unitaria al corte en el caso de los arados la relación correspondiente fue:

$$\ln R = b_4 + b_5 \ln V$$

donde:

R = Resistencia unitaria al corte (KN/m<sup>2</sup>).

## INTRODUCCION

La preparación de suelos en Colombia para zonas mecanizadas se hace generalmente con implementos de discos. Si bien es cierto que los arados de vertedera en muchos casos pueden realizar una mejor inversión de la capa arable, en nuestro medio el uso de este tipo de implementos ha sido restringido y reemplazado por arados de discos. En la misma forma para labores de desterronamiento se ha generalizado el uso de rastrillos de discos en sus diferentes versiones.

A pesar del uso intensivo de estos equipos en operaciones de labranza aún no se han hecho estudios del comportamiento de los mismos para las diferentes condiciones de suelos en épocas de preparación.

En la mayoría de los casos los agricultores preparan sus terrenos teniendo en cuenta más la época del año que las condiciones del suelo para efectos de labranza.

Tales épocas de preparación son generalmente de sequía y anteriores a la iniciación del período de lluvias que debe coincidir con la terminación de la siembra. Con base en lo anterior se planteó el presente estudio con los siguientes objetivos:

- Determinar los requerimientos de fuerza de tiro y potencia en operaciones de arada y desterronamiento con implementos de discos.
- Establecer los rangos de humedad del suelo y velocidad de aplicación del implemento para suelos de diferentes texturas con el fin de obtener un mejor aprovechamiento de la fuente de potencia.
- Con base en los datos de campo, establecer mediante modelos matemáticos las relaciones existentes entre la fuerza de tiro y su respectiva potencia con los parámetros de humedad del suelo y velocidad de operación del implemento.

## REVISION DE LITERATURA

Telischí et al (1956) encontraron en condiciones de Laboratorio las siguientes relaciones para representar los requerimientos de tiro en implementos de labranza con algunos parámetros del suelo y del equipo en sí.

$$A. Y = aX^b + C$$

donde: Y = fuerza de tiro

X = velocidad de operación.

a, b = parámetros relacionados con el contenido de arcilla y humedad y también con la forma y clase de implemento.

$$B. Y = C^a + bx + C$$

donde: Y = fuerza de tiro

x = contenido de humedad.

## MATERIALES Y METODOS

El trabajo de campo se realizó sobre diferentes suelos dentro de un amplio rango de texturas que se encontraron principalmente en los Centros Experimentales de Tibaitatá y Nataima, cuyas alturas son respectivamente 2.550 y 385 metros sobre el nivel del mar y sus temperaturas medias son 14 y 27 grados centígrados.

Para el efecto, se utilizó como fuente de potencia un tractor cuyas características se anotan a continuación:

Potencia al volante:	57.8 Kw (DIN).
Tipo de llantas:	16.9 / 14 - 30, R1, 6 capas.
Tipo de transmisión:	en 2 ruedas.
Barra de Tiro:	Tipo oscilante con horquilla ajustable.

Para las mediciones de fuerza de tiro se utilizó un dinamómetro hidráulico previamente calibrado en el laboratorio. La velocidad de operación se determinó midiendo el tiempo empleado para recorrer tramos de 50 metros en condiciones normales de trabajo.

La textura de los suelos con los cuales se trabajó se determinó en el laboratorio me-

diante el método de Bouyoucos, a partir del cual se obtuvieron los grupos y clases texturales que aparecen en las dos primeras columnas de los Cuadros 1 y 2.

CUADRO 1

Requerimientos de tiro (kN/m) y de potencia (kW/m) en la barra de tiro por unidad de ancho de un arado de discos trabajando a tres diferentes velocidades. Profundidad de labranza 0,22 metros.

GRUPO TEXTURAL	CLASE TEXTURAL	HUMEDAD % b. s.	VELOCIDAD OPERACION m/s.	F. TIRO POR m. ANCHO kN/m.	POT. bt/m. ANCHO kw/m.	R. UNITARIA kN/m <sup>2</sup>
Textura fina (Suelo pesado)	Arcilloso - fino Arcilloso - limoso Arcilloso - arenoso Franco - arcillo - limoso	29	0,89	6,9 - 8,3	6,1 - 7,4	31,4 - 44,5
			1,17	7,9 - 9,3	9,2 - 10,9	
			1,45	8,8 - 9,8	12,8 - 14,2	
Texturas Media y/o Moderada mente fina (Suelo moderadamente pesado)	Franco Franco - arcillo - limoso	35	0,89	8,8 - 10,8	7,8 - 9,6	40,0 - 58,2
			1,17	10,3 - 11,8	12,1 - 13,8	
			1,45	11,3 - 12,8	16,4 - 18,6	
Texturas Media y/o Moderada mente fina (Suelo moderadamente pesado)	Franco Franco - arcillo - limoso	44	0,89	10,8 - 12,3	9,6 - 10,9	49,1 - 64,5
			1,17	11,8 - 12,8	13,8 - 15,0	
			1,45	12,8 - 14,2	18,6 - 20,6	
Texturas Media y/o Moderada mente fina (Suelo moderadamente pesado)	Franco Franco - arcillo - limoso	23	0,89	6,4 - 7,9	5,7 - 7,0	29,1 - 46,8
			1,17	7,4 - 9,3	8,7 - 10,9	
			1,45	8,8 - 10,3	12,8 - 14,9	
Texturas Media y/o Moderada mente fina (Suelo moderadamente pesado)	Franco Franco - arcillo - limoso	30	0,89	7,4 - 8,8	6,6 - 7,8	33,6 - 49,1
			1,17	8,3 - 9,8	9,7 - 11,5	
			1,45	9,3 - 10,8	13,5 - 15,7	
Texturas Media y/o Moderada mente fina (Suelo moderadamente pesado)	Franco Franco - arcillo - limoso	35	0,89	7,5 - 8,8	6,7 - 7,8	34,1 - 48,6
			1,17	8,5 - 9,8	9,9 - 11,5	
			1,45	9,2 - 10,7	13,3 - 15,5	
Texturas Media y/o Moderada mente fina (Suelo moderadamente pesado)	Franco Franco - arcillo - limoso	9	0,89	8,8 - 10,8	7,8 - 9,6	40,0 - 55,9
			1,17	9,8 - 11,8	11,5 - 13,8	
			1,45	10,8 - 12,3	15,7 - 17,8	
Textura Media (Suelo Liviano)	Franco Franco - arenoso	14	0,89	9,8 - 11,8	8,7 - 10,5	44,5 - 64,5
			1,17	11,3 - 13,2	13,2 - 15,4	
			1,45	12,8 - 14,2	18,6 - 20,6	
Textura Media (Suelo Liviano)	Franco Franco - arenoso	20	0,89	10,0 - 12,1	8,9 - 10,8	45,5 - 65,9
			1,17	11,7 - 13,5	13,7 - 15,8	
			1,45	13,3 - 14,5	19,3 - 21,0	

CUADRO 2

Requerimientos de tiro (kN/m) y de potencia (kw/m) en la barra de tiro por unidad de ancho de un rastrillo californiano (excéntrico) trabajando a tres diferentes velocidades. Profundidad de labranza 0,13 metros.

GRUPO TEXTURAL	CLASE TEXTURAL	HUMEDAD % o b. s.	VELOCIDAD OPERACION m/s	F. TIRO m. ANCHO kN/m	POT. bt./m. ANCHO kw/m
Textura Fina (Suelo Pesado)	Arcilloso fino	28	0,97	2,4 - 3,1	2,3 - 3,0
			1,25	2,9 - 3,9	3,6 - 4,9
			1,53	3,4 - 4,4	5,2 - 6,7
	Arcillo - limoso	33	0,97	3,1 - 3,9	3,0 - 3,8
			1,25	3,8 - 4,8	4,7 - 6,0
			1,53	4,4 - 5,4	6,7 - 8,3
	Arcillo - arenoso	44	0,97	3,9 - 4,9	3,8 - 4,8
			1,25	4,5 - 5,4	5,6 - 6,8
			1,53	4,9 - 5,9	7,5 - 9,0
Franco - arcillo - limoso	23	0,97	2,4 - 2,8	2,3 - 2,7	
		1,25	2,6 - 3,1	3,2 - 3,9	
		1,53	2,9 - 3,4	4,4 - 5,2	
Texturas Media y/o Moderadamente fina (Suelos moderadamente pesados)	Franco	30	0,97	2,4 - 2,8	2,3 - 2,7
			1,25	2,6 - 3,1	3,2 - 3,9
			1,53	2,9 - 3,4	4,4 - 5,2
	Franco - arcillo - limoso	35	0,97	2,7 - 3,4	2,6 - 3,3
			1,25	3,3 - 3,8	4,1 - 4,7
			1,53	3,5 - 4,3	5,3 - 6,6
	Franco - arenoso	9	0,97	4,4 - 4,9	4,3 - 4,8
			1,25	4,7 - 5,6	5,9 - 7,0
			1,53	5,2 - 6,4	8,0 - 9,8
Franco	14	0,97	4,6 - 5,6	4,5 - 5,4	
		1,25	5,4 - 6,3	6,7 - 7,9	
		1,53	6,1 - 6,9	9,3 - 10,5	
Franco - arenoso	20	0,97	4,7 - 6,0	4,6 - 5,8	
		1,25	5,9 - 6,6	7,4 - 8,2	
		1,53	6,6 - 7,2	10,1 - 11,0	

De otra parte la humedad (0/o b.s.) fue determinada mediante el método de la estufa y para cada clase textural se obtuvieron tres niveles diferentes de humedad, los cuales se muestran en los mismos cuadros.

Para los ensayos de roturación del suelo (arada) se utilizó un arado Oliver de tiro con 3 discos, cuyo diámetro al iniciar las pruebas era de 0.66 metros (26").

El ángulo de los discos con respecto a la dirección de trabajo fue de 43° y el ángulo vertical de los mismos fue de 20° en todos los casos.

La profundidad de la labor se trató de mantener en 0.22 metros durante las pruebas. Sobre los mismos lotes previamente arados como se explicó anteriormente se utilizó para operaciones de desterronamiento un rastrillo RCT 22-24" con un ángulo de traba entre los cuerpos de 18°. La profundidad de la labor fue de 0.13 metros.

En todos los casos las pruebas se replicaron tres veces.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Tanto la fuerza de tiro como la potencia en la barra de tiro se calcularon con referencia a un metro de ancho de corte, tomando como base los resultados de campo y haciendo las conversiones respectivas.

Los valores que aparecen en los Cuadros 1 y 2 son los extremos inferior y superior de cada prueba y están indicando el rango dentro del cual están los resultados obtenidos.

En la misma forma como la resistencia unitaria al corte en el caso de los arados depende directamente de la fuerza de tiro, los valores indicados en los mismos cuadros muestran el rango esperado para esta variable.

La Figura 1 muestra para suelos de textura fina, la relación existente entre la fuerza de tiro dentro de los rangos obtenidos en las pruebas y la humedad del suelo, con tres velocidades de operación diferentes, para cada una de las cuales se indica en la parte derecha de la gráfica su correspondiente potencia requerida por unidad de ancho (metro).

De la misma manera los suelos moderadamente pesados y livianos presentan las anteriores relaciones como se muestra en las Figuras 2 y 3.

En términos generales se encontró que para suelos de textura fina (pesados) hay una tendencia más pronunciada al incremento en la fuerza de tiro a medida que aumenta la humedad del suelo, que en los suelos moderadamente pesados y en los livianos.

En el caso de los rastrillos las diferencias en el comportamiento son menos pronunciadas.

Con el objeto de obtener una relación matemática entre las variables, se analizaron varios modelos matemáticos de los cuales el que presentó un mejor ajuste fue el que tiene la forma:

$$\ln F = b_0 + b_1 \ln V$$

donde:  $F$  = fuerza de tiro por unidad de ancho (KN/m)

$V$  = velocidad de operación (m/s)

$b_0$  y  $b_1$  = coeficientes de regresión.

La correspondiente relación para potencia requerida en las operaciones de labranza es:

$$\ln P = b_2 + b_3 \ln V$$

donde:  $P$  = potencia por unidad de ancho (KW/m).

Para la resistencia unitaria al corte en el caso de los arados la correspondiente relación fue:

$$\ln R = b_4 + b_5 \ln V$$

donde:  $R$  = resistencia unitaria al corte (KN/m<sup>2</sup>).

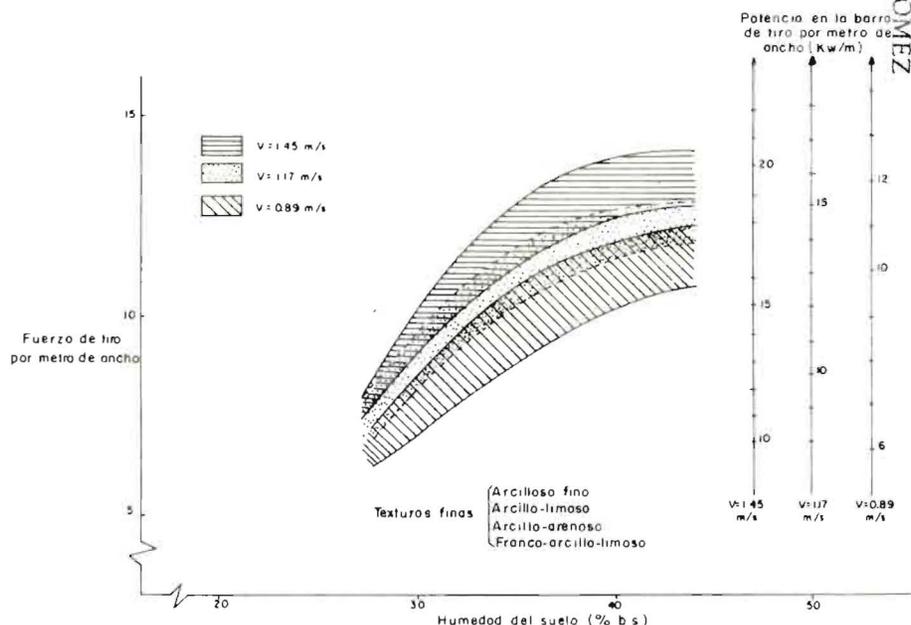


FIGURA 1. Requerimientos de tiro (KN/m) y de potencia (Kw/m) en la barra de tiro por unidad de ancho de un arado de discos trabajando sobre un suelo pesado (textura fina). Profundidad de labranza . Q22 m.

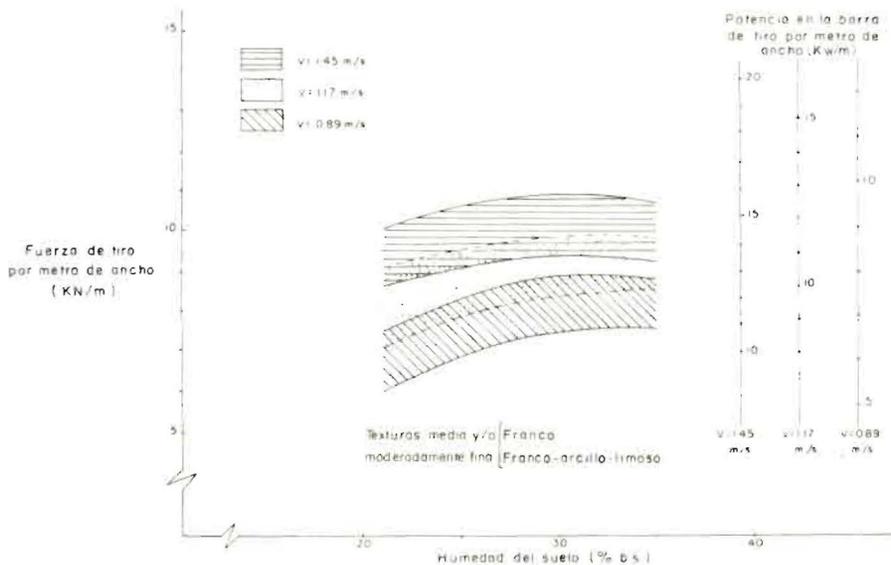


FIGURA 2. Requerimientos de tiro (KN/m) y de potencia (Kw/m) en la barra de tiro por unidad de ancho de un arado de discos trabajando sobre un suelo moderadamente pesado (texturas media y/o moderadamente fina) Profundidad de labranza : 0.22 m

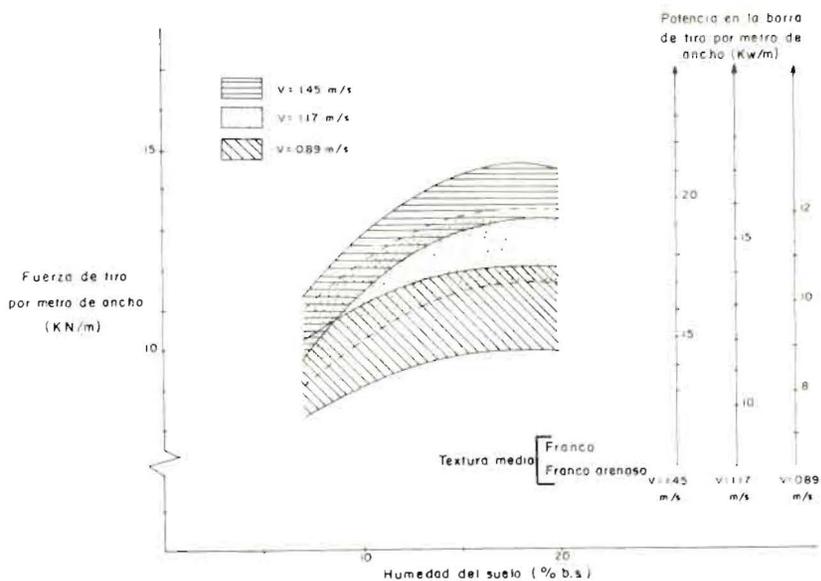


FIGURA 3. Requerimientos de tiro (KN/m) y de potencia (Kw/m) en la barra de tiro por unidad de ancho de un arado de discos trabajando sobre un suelo liviano (textura media) Profundidad de labranza : 0.22 m

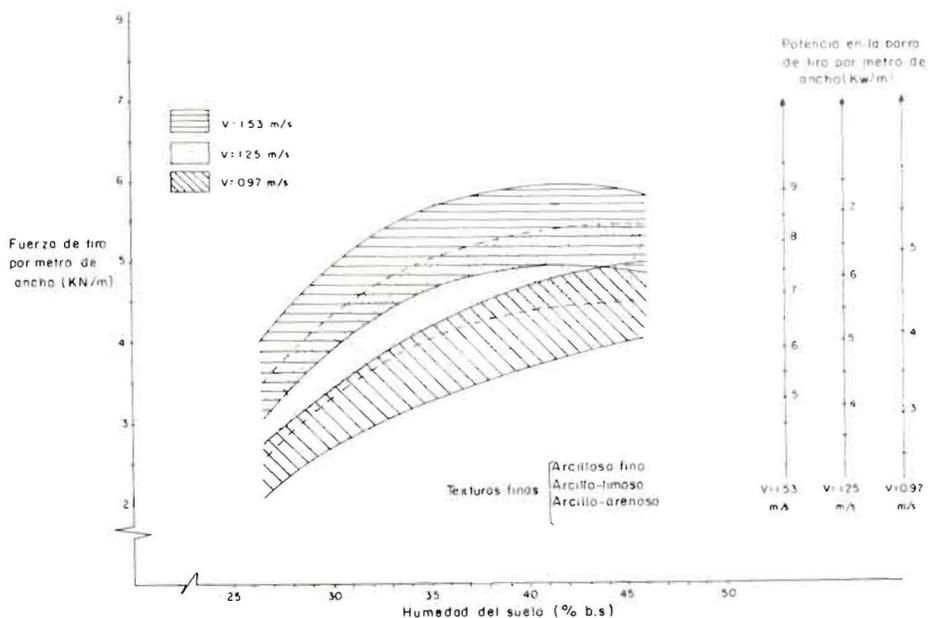


FIGURA 4. Requerimiento de tiro (KN/m) y de potencia (Kw/m) en la barra de tiro por unidad de ancho de un rastrillo Californiano (excéntrico) trabajando sobre un suelo pesado (textura fina). Profundidad de labranza: 0.13 m

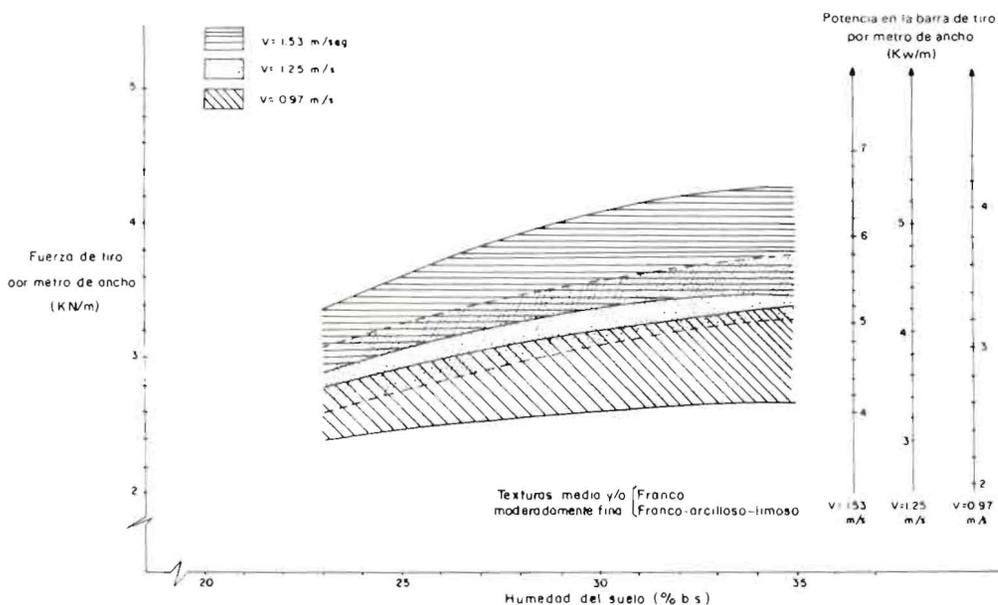


FIGURA 5. Requerimiento de tiro (KN/m) y de potencia (Kw/m) en la barra de tiro por unidad de ancho de un rastrillo Californiano (excéntrico) trabajando sobre un suelo moderadamente pesado, (textura media y/o moderadamente fina). Profundidad de labranza: 0.13 m

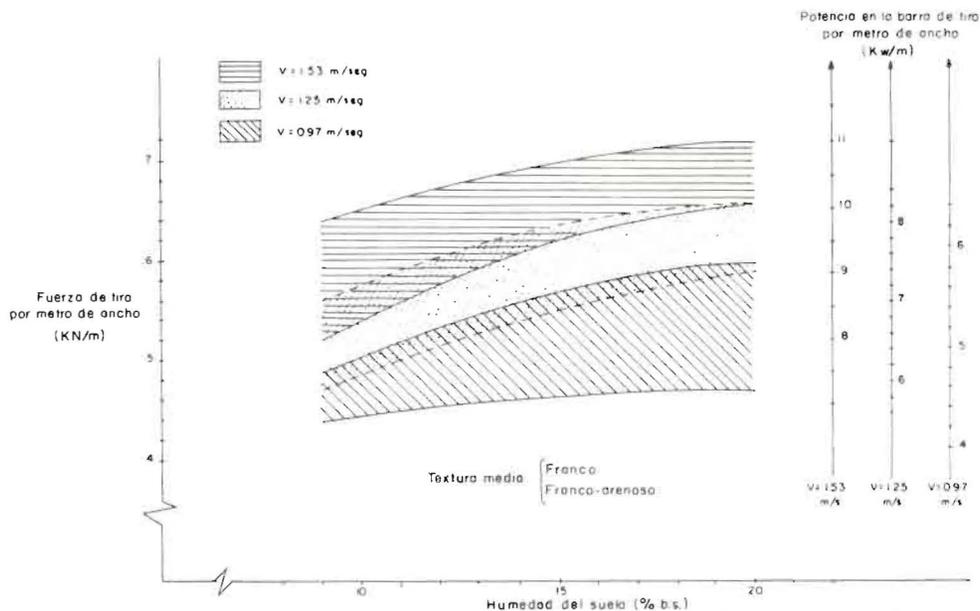


FIGURA 6. Requerimientos de tiro (KN/m) y de potencia (Kw/m) en la barra de tiro por unidad de ancho de un rastrillo Californiano (excéntrico) trabajando sobre un suelo liviano (textura media) Profundidad de labranza: 0.13 m.

## CONCLUSIONES

En condiciones de campo es muy difícil generalizar la aplicación de un modelo matemático en cuanto al comportamiento de los implementos de labranza y sus requerimientos de energía en razón a que los suelos presentan condiciones muy discímiles en trayectos muy cortos. Por consiguiente, en muchos casos es necesario particularizar la aplicación de un modelo determinado de acuerdo con las condiciones del terreno.

Cuando las condiciones de campo no permitan la obtención de datos consistentes para la aplicación de un modelo determinado es conveniente simular las condiciones en el Laboratorio y hacer las pruebas correspondientes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. BARNES, K.K.; BOCKHOP, W.C.; and McLEON, E.H. Similitude in studies of tillage implement forces. Agricultural Engineering Journal. Vol. 14: 32-37, 42. 1960.
2. GILL, W.R. and VANDEN BERG. Soil dynamics in tillage and traction. USDA Handbook, No. 316. 1967.

3. HARRISON, P. H. Soil reacting forces for disks from field measurements. Transactions of the ASAE. 20 (5): 836-838. 1977.
4. KEPNER, R.A., BAINER, R. and BARGER. L.E. Principles of farm machinery. 2nd Edition. AVI publishing Co. Inc. 1972.
5. TELISCHI, B.; McCOLLY F. H. and ERICKSON E. Draft measurement for tillage tools. Agricultural Engineering. 37 (9): 605-617. 1956.
6. VOORHEES, L.M.; WALKER, N.P. Tractionability as a function of soil moisture. Transactions of the ASAE. 20 (5): 806-809. 1977.