

# Labranza vertical

Alternativas mecánicas para la descompactación de suelos

11/04/2016

# Objetivos

- Valorar los procesos de compactación, descompactación y recompactación de suelos
- Comprender los principios de trabajo de los escarificadores
- Identificar los aspectos de diseño, regulación y operación del implemento que impactan sobre la eficiencia tractiva y la conservación del suelo

# ¿Qué es la compactación del suelo?

- El suelo agrícola está compactado cuando se ha roto el equilibrio entre las unidades estructurales, la estabilidad de las mismas, los poros, las grietas y las fisuras. Esa rotura del equilibrio en el perfil no permite asegurar un rápido drenaje, ni una adecuada aireación, ni tampoco un contenido de humedad suficiente para garantizar el crecimiento de los cultivos

- Sanchez Girón (1996)



**Manejo del estrés compactante  
Mecanización agraria**

**Susceptibilidad y/o resistencia a  
los procesos de compactación  
Capacidad portante  
Manejo del suelo**

# Requerimientos

## El desarrollo de los cultivos necesita

- Suelo bastante húmedo
- Bien aireada
- Relativamente blando
- Estas condiciones son demasiado débiles para el tráfico de tractores y máquinas

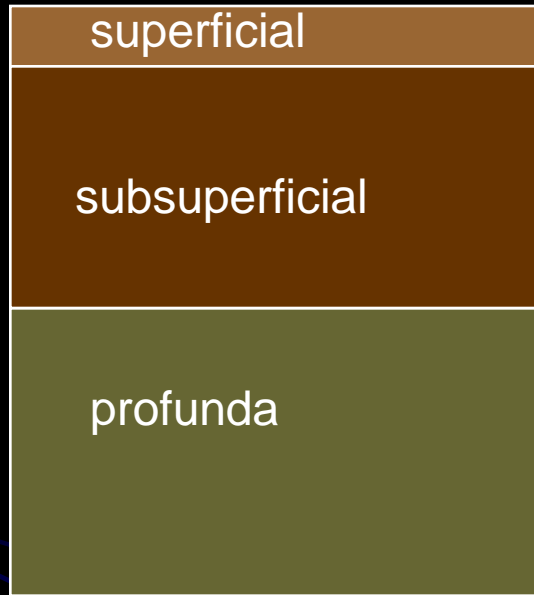
## Los tractores y cosechadoras necesitan

- Suelo poco húmedo o seco
- Suelo firme
- Alto peso adherente para tirar máquinas cada vez más anchas

# Variables que afectan la compactación

- Origen
  - Por el tipo de suelo (Genética)
  - Producida por el hombre (Antrópica)
- Profundidad
  - Superficial (Ap)
  - subsuperficial
  - Profunda más de 1m
- Desarrollo (espesor)
- Dureza
- Continuidad
- Reversibilidad

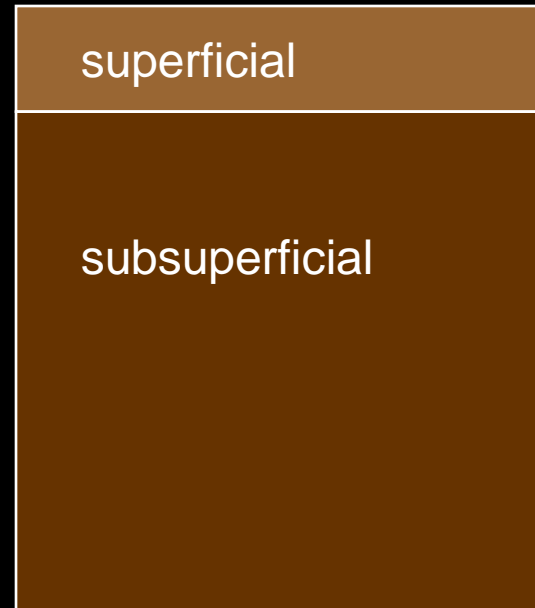
# Profundidad



Ap

0,20-1m

+ de 1m



0-0,30m



0-0,10m

+ de 0,1m

SD ?

11/04/2016

# Parámetros que sirven para la identificación de problemas de compactación

- Parámetros físico-mecánicos
  - Densidad aparente
  - Resistencia a la penetración
- Porosidad
- Aireación / drenaje /infiltración
- ENRAIZAMIENTO



# Densidad aparente



Método del cilindro

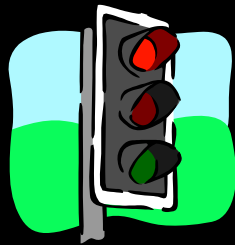
$\text{g/cm}^3$

Umbral crítico:

Franco arenoso  $>1.6 \text{ g/cm}^3$

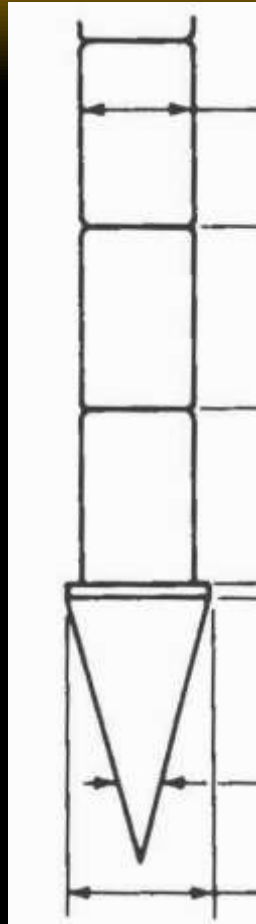
Franco; franco-limoso  $>1.4$

Arcilloso; franco-arcilloso  $>1.3 \text{ g/cm}^3$



La densidad aparente no es un parámetro comparable para suelos de diferente textura

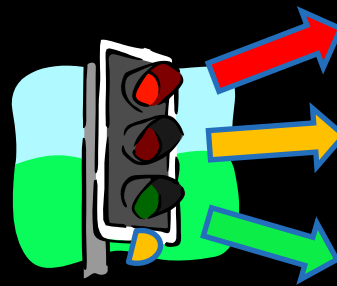
# Resistencia a la penetración



## Penetrómetro de cono

MPa (medida de presión)

Depende de la humedad



Umbral crítico:

2 MPa – 2,5 MPa

Umbral Preocupante

1,5 MPa

Menor a 1,5 MPa sin  
problemas

valores de resistencia a la penetración de 1,5 MPa retrasan el crecimiento de las raíces  
registros de 2 a 2,5 MPa pueden detener el mismo

# Enraizamiento



11/04/2016

# Perfil cultural y enraizamiento





11/04/2016



11/04/2016

Los procesos de mecanización deben reducir, atemperar, minimizar los efectos que afectan la fertilidad física del suelo



# ¿Es frecuente la compactación por tránsito?

- **A nivel superficial**
  - Demasiado

- **A nivel subsuperficial**
  - **Sí, pero es más lenta y más grave a largo plazo**

- **¿Causas?**
  - Rodados
  - Presión de inflado
  - Peso sobre el eje
  - Tipo de suelo
  - Estado del terreno
  - Pasaje repetido en una misma senda



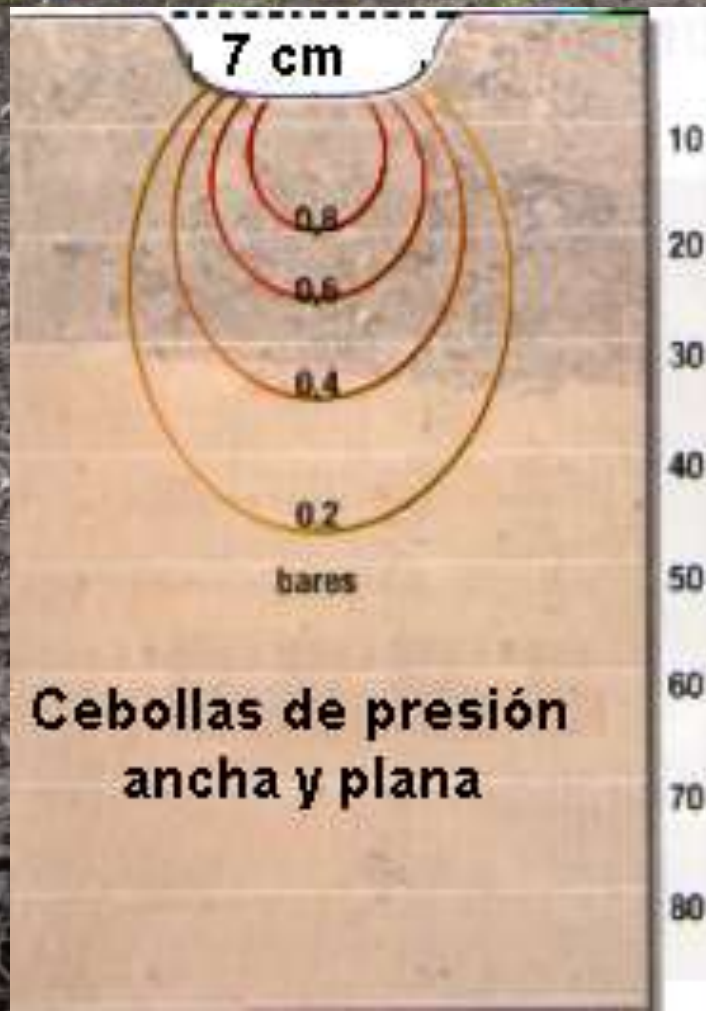
# Compactación

- **Superficial**
  - **Presión en el área de contacto**
  - **Tipo y estado del suelo**
  - **Número de pasadas**
  - **Alto del neumático**
  - **Ancho del neumático**
  - **Presión de inflado**
- **Subsuperficial**
  - **Peso sobre el eje**
  - **Tipo y estado del suelo**
  - **Número de pasadas**

# En Mecanización Agrícola

- Compactación asociada al tránsito de:
  - Tractores
  - Sembradoras
  - Pulverizadoras
  - Abonadoras autopropulsadas
  - Cosechadoras
  - Carros graneleros
- Compactación superficial
- Compactación subsuperficial

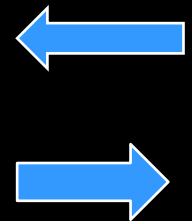
**Presión**



**Peso**



# Se compacta el suelo?



# Manejo del estrés compactante

- Selección de diseño tractivo
- Selección y manejo de pesos y contrapesado
- Selección de neumáticos
- Diseño de neumáticos
- Presión de inflado

# Compactación en la siembra



11/04/2016



Curso de Mecanización Agraria. Dpto. de Ingeniería Agrícola y Forestal

# Compactación en la cosecha



11/04/2016





11/04/2016





1/04/2010



11/04/2016



11/04/2016

- Sólo cuando se identifican problemas generados por los impedimentos se deben tomar medidas
  - La descompactación mecánica solo debe realizarse cuando la biología no puede o lo hace muy lentamente
  - Las medidas no deben producir demasiado aflojamiento
  - Las acciones a realizar requieren un gran cuidado
  - La profundidad de trabajo debería ser la mínima posible compatible con la roturación de la capa compactada
  - Sería importante conocer la capacidad de soporte del suelo al momento de realizar los trabajos
  - Lamentablemente solo se puede recurrir al criterio de quien toma la decisión de efectuar la labor

# Dureza y espesor

superficial

Ap

< 4 cm ó < 2MPa

0,20-1m

> 4 cm > 2MPa

subsuperficial

+ de 0,5m

No solucionable a nivel  
extensivo con los  
implementos habituales

profunda

11/04/2016

+ de 1m



# Cuándo descompactar ? (según Raper)

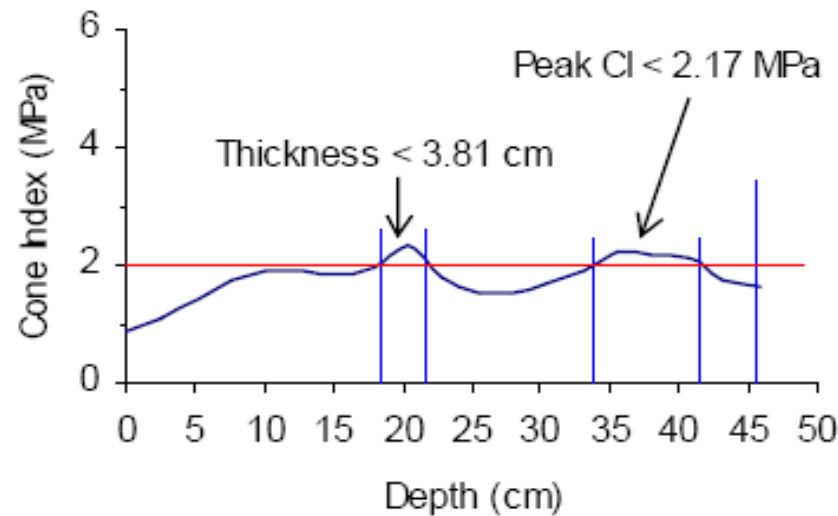


Figure 3 The illustration of ignorable compacted layers based on the Thickness Limitation and the Peak Cone Index Limitation.

Capas compactadas posibles de ser ignoradas según Raper en acuerdo con su espesor y dureza



Cone Index (MPa)

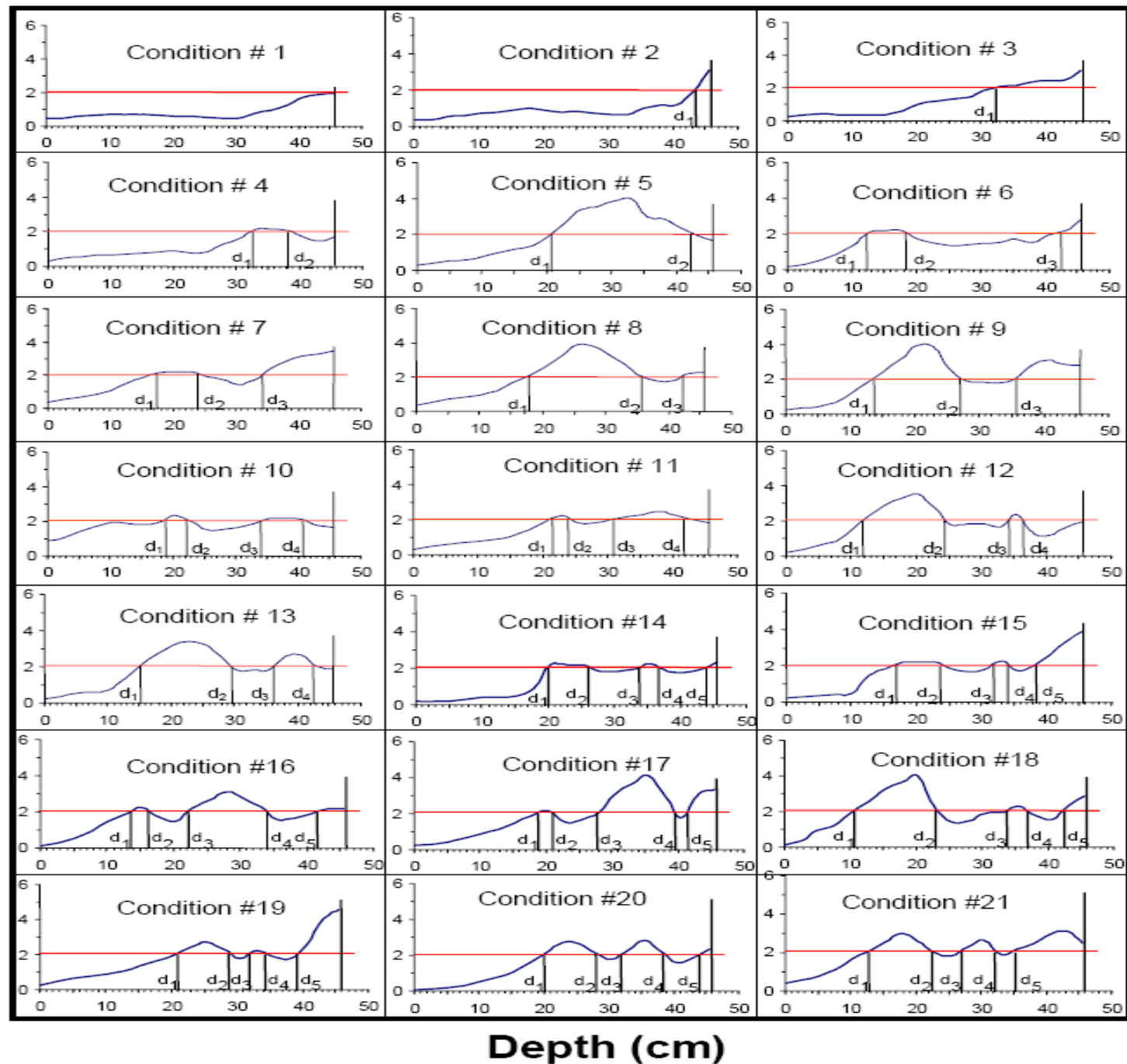


Figure 4 Examples of 21 different cone index profile patterns obtained by examining penetrometer data.

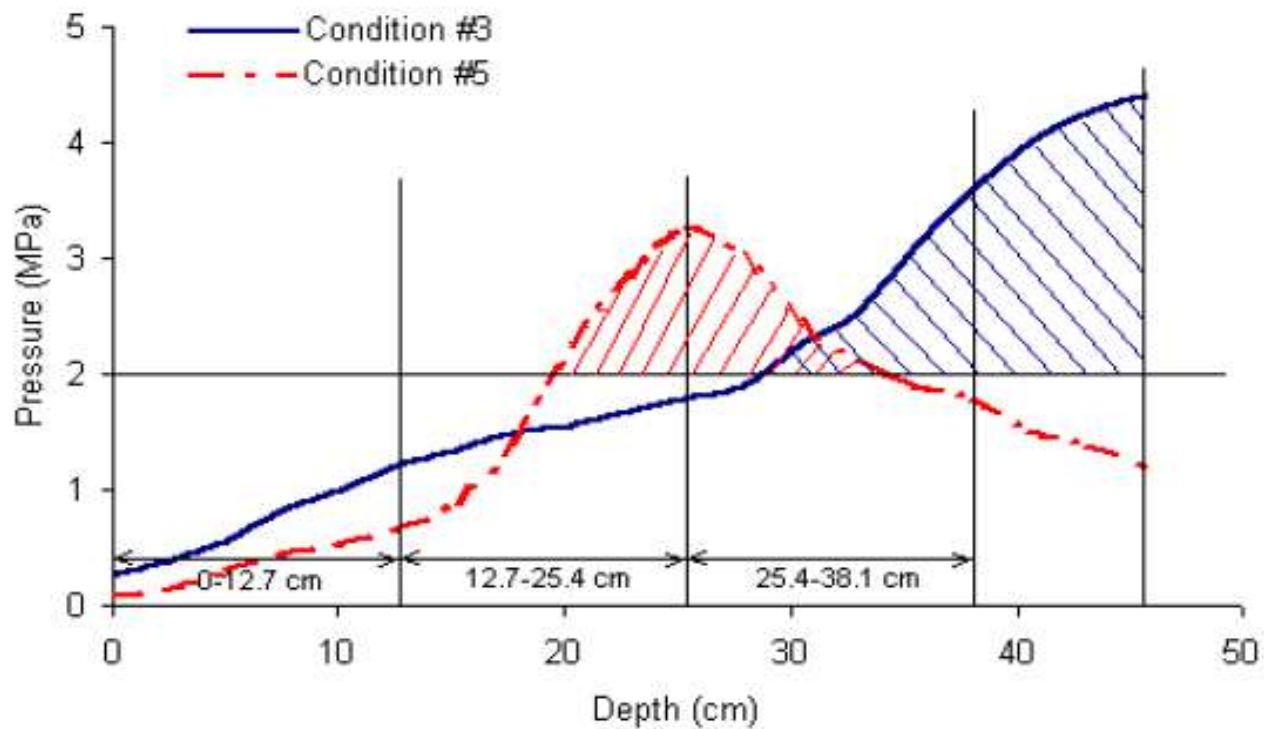


Figure 5 The average location of the hardpan for the soil profiles with condition #3 and condition #5.

# A qué profundidad hay que descompactar?



0,10 m

0,20 m

0,40 m

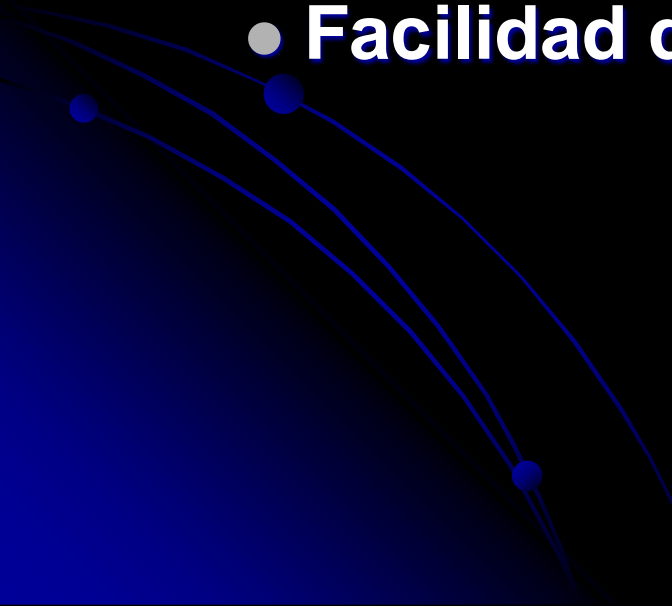
?



# Características de la escarificación

- Es el trabajo del suelo con órganos activos estrechos que producen la rotura del suelo por la tensión a la que el mismo es sometido
- El suelo reacciona al paso de los órganos activos de distinta manera en acuerdo con el estado del suelo, características propias del diseño de la máquina y variables operativas

# Principales características de labor

- **Versatilidad**
  - **Escasa inversión del suelo**
  - **Cobertura de residuos vegetales variable de acuerdo al diseño, configuración y operación del implemento**
  - **Facilidad de operación y mantenimiento**
- 

# Problemas en el trabajo con implementos de labranza vertical

- **Capacidad de paso (atoraduras)**
- **Altos esfuerzos de tracción**
- **Variabilidad del esfuerzo de tracción**
- **Grado de roturación entre órganos activos**
- **Compactación en profundidad**
- **Desuniformidad en la profundidad de labor**
- **Disminución de residuos de cosecha**

# Características importantes en máquinas para laboreo conservacionista

- Adecuación de la estructura del bastidor y órganos activos para el trabajo con altos esfuerzos de tracción y resistencia a la penetración
- Características del rodado (doble, con balancín y de gran diámetro)
- Despeje
- Número de planos de acción
- Distancia entre planos de acción



# Implementos de Laboreo primario

## Arcos o montantes Flexibles

### ◆Cinceles

## ■ Arcos o montantes Rígidos

### ◆Montante recto

#### ■Escarificadores

#### ■Subsoladores

### ◆Montante inclinado

#### ☞Angulado

##### •Paratill, Paraplow

#### ☞Curvo

##### •Cultivie, Ecoitier

# Implementos de descompactación profunda

## Arcos o montantes Rígidos

### Escarificadores

- Montante recto
  - Escarificadores, Descompactadores, Subsoladores
- Montante inclinado
  - Angulado
    - Paratill, Paraplow
  - Curvo
    - Cultivie, Ecoltier

### Extirpadores

Superficiales

Subsuperficiales





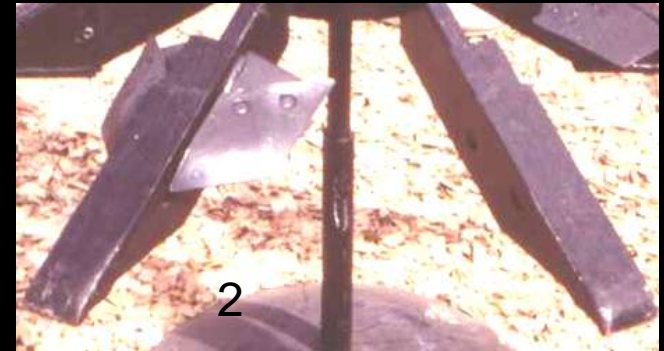
### Montantes

- 1)Cincel flexible
- 2)Cincel rígido
- 3, 4) Descompactadores rígidos
- 5) Subsolador
- 6) Paratill recto
- 7) Paratill curvo



# Rejas

- 1) De cincel, Convencionales reversibles, reforzadas
- 2) De subsolador, convencionales y aladas
- 3) De escarificador, con alas
- 4) Alada de descompactador
- 5) De escardillo subsuperficial
- 6) De Paratill curvo, reversible



# Características diferenciales

- Montante

- Flexible
- Rígido
  - Recto
  - Angulado lateral

- Rejas

- Convencionales
- Aladas
- Escardillos

- Profundidad de labor

- Superficial
- Subsuperficial o Profunda

- Grado de roturación

- Con intensa remoción
- Con menor roturación y alteración superficial

- Número de labores

- En un solo pasaje
- En 2 o más pasajes

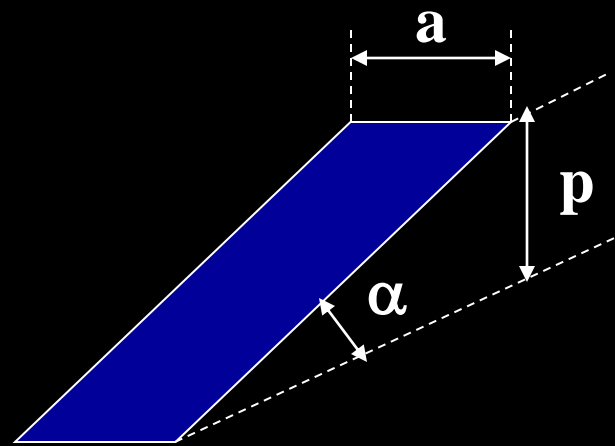
- Tipo de máquina

- Máquinas simples
- Máquinas combinadas
- Trabajos en 1 estrato
- Trabajos en 2 o más estratos

# Aspectos relevantes en el trabajo con escarificadores

- Diseño de la reja
  - Ángulo de ataque de la reja
  - Ancho de la reja
- Diseño del montante
  - Ángulos del montante
  - Ancho del montante
  - longitud
- Diseño del bastidor
  - Distancia entre montantes
  - Posibilidades de desplazamiento
- Profundidad de labor y velocidad de trabajo.
  - Patrones característicos de roturación – profundidad crítica
- Interacción entre órganos activos
  - Uniformidad de roturación y energía requerida para la roturación

Mc Kyes (1985)



**Incremento de la roturación**  
**Mayor resistencia específica**

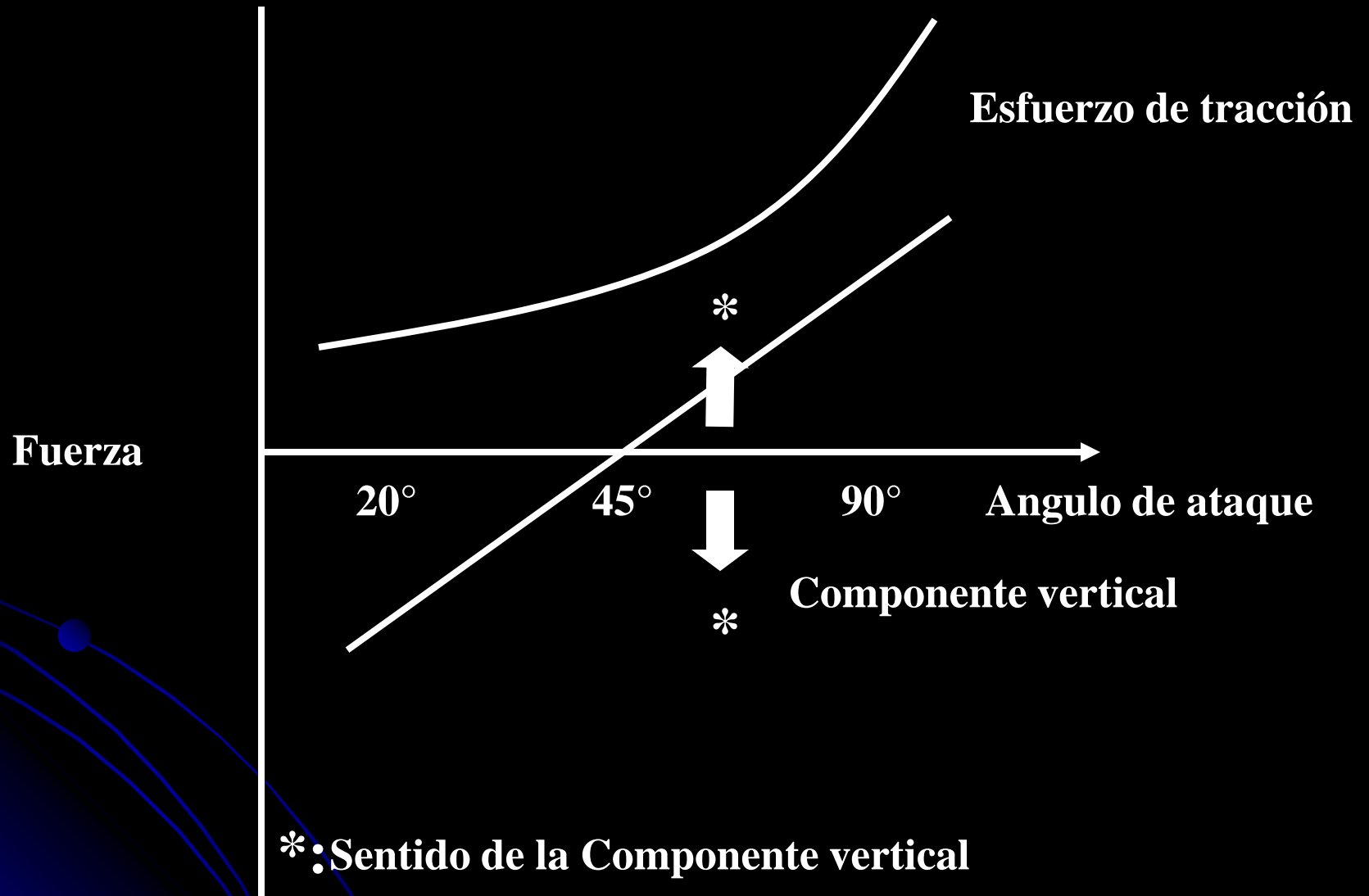
$\alpha$

**Menor resistencia específica**  
**Mayor eficiencia energética**

11/04/2016

$p/a$

# EFECTO DEL ANGULO DE ATAQUE DEL ÓRGANO ACTIVO







**c)  $\alpha = 25^\circ$ ,  $x = 156$  mm**



**g)  $\alpha = 40^\circ$ ,  $x = 230$  mm**



**d)  $\alpha = 25^\circ$ ,  $x = 172$  mm**

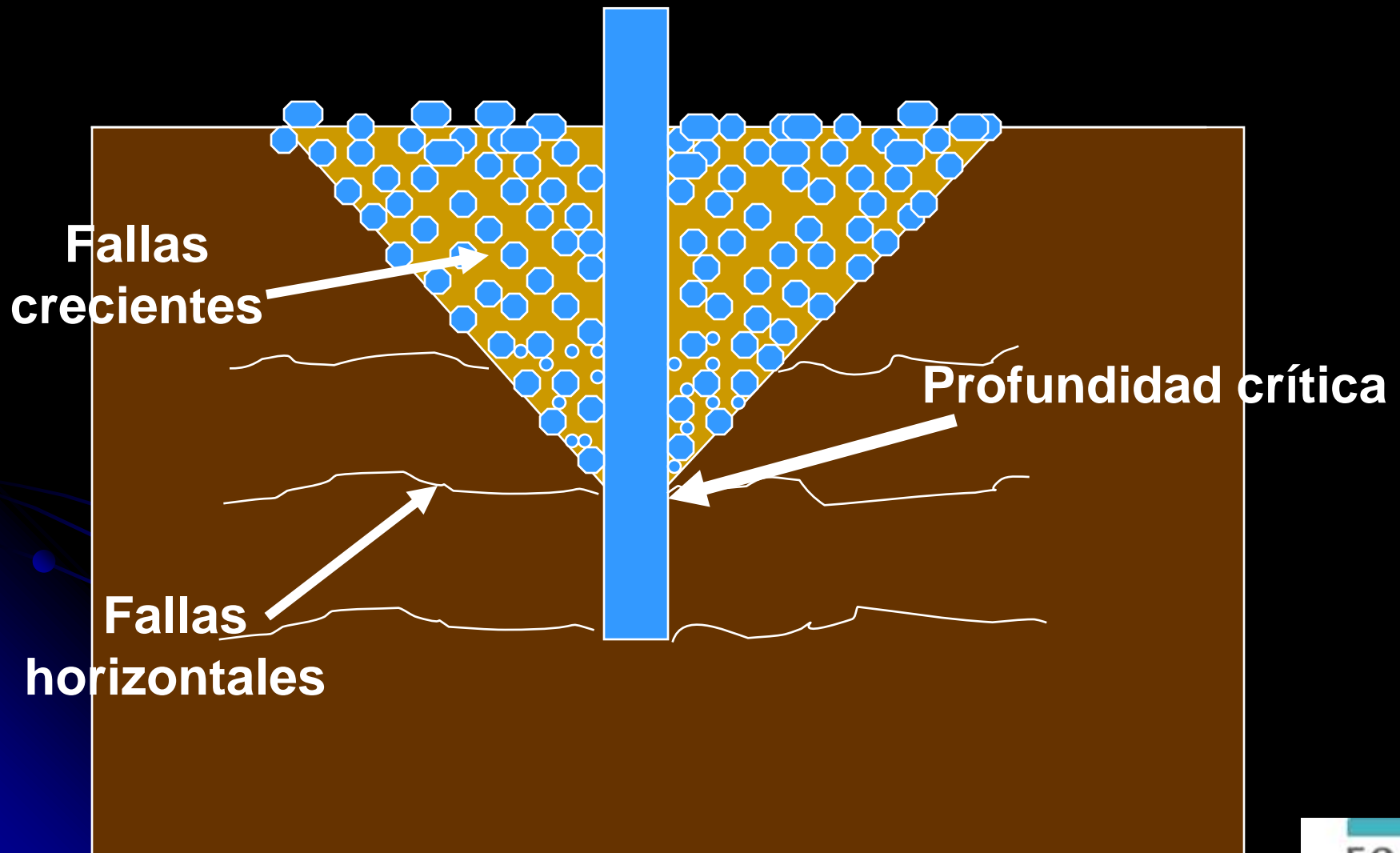


**h)  $\alpha = 40^\circ$ ,  $x = 255$  mm**

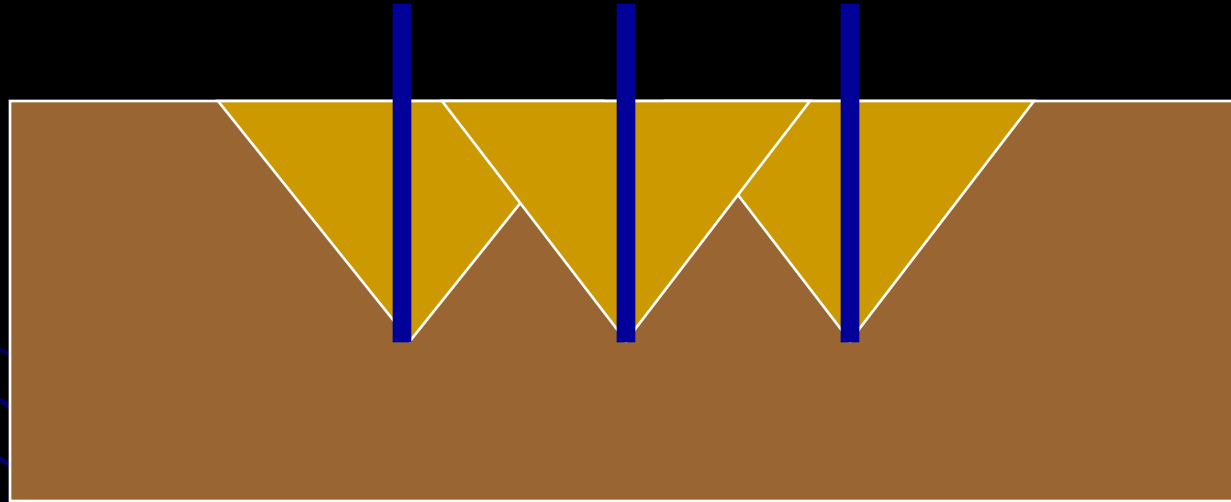
**$\alpha =$  rake angle ( $^\circ$ )**

**$x =$  displacement (mm)**

# Patrones de roturación

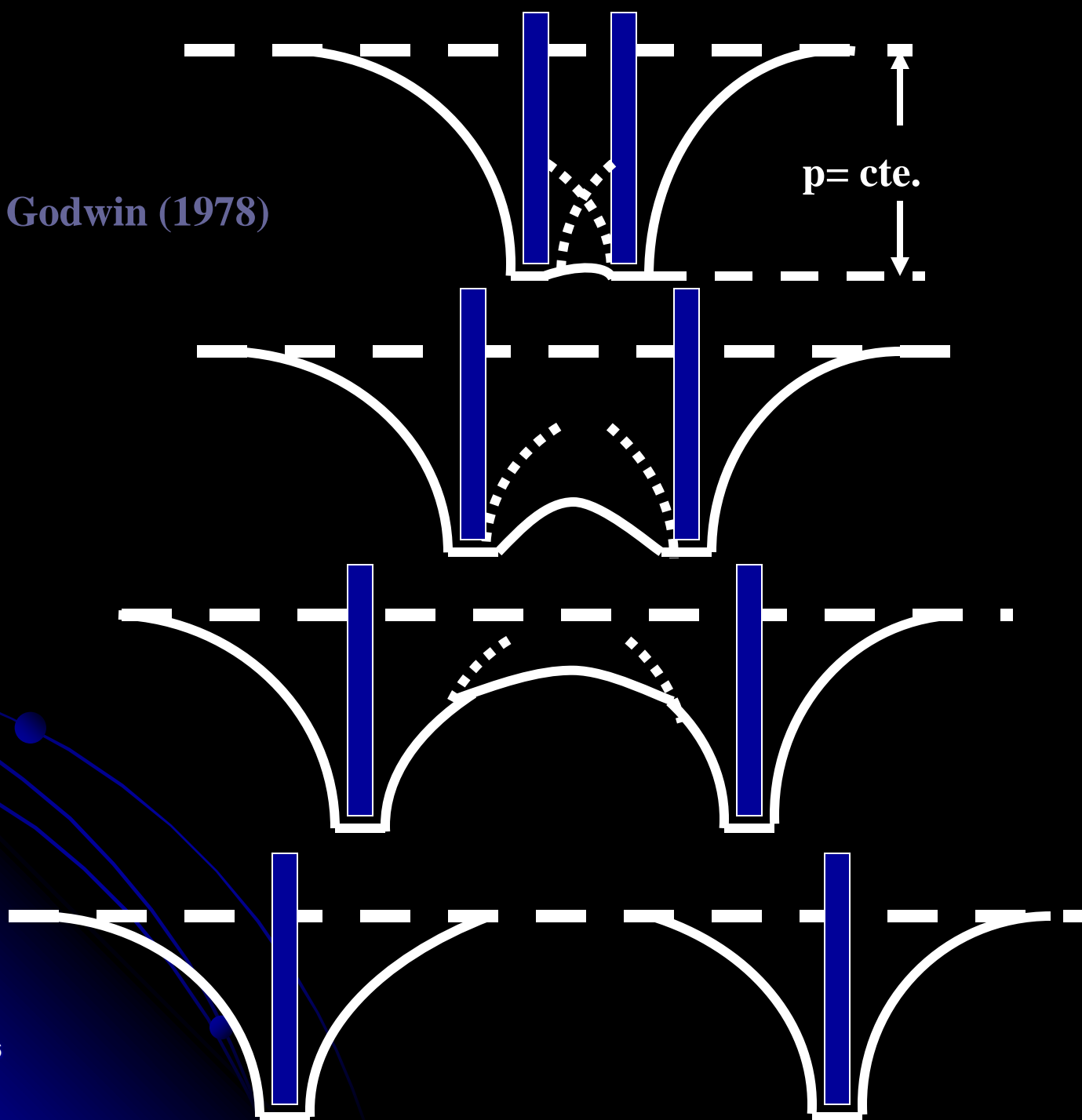


# Procesos de interacción



11/04/2016

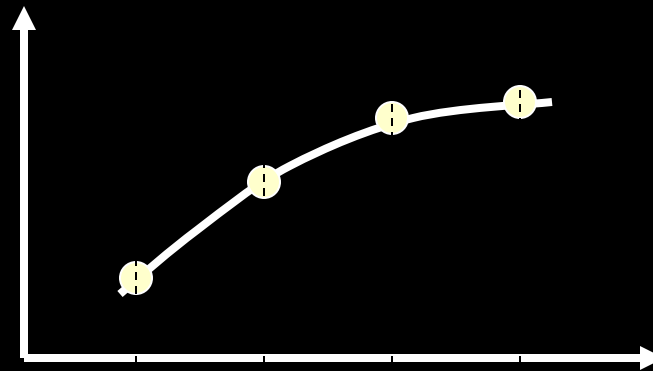
Spoor y Godwin (1978)



11/04/2016

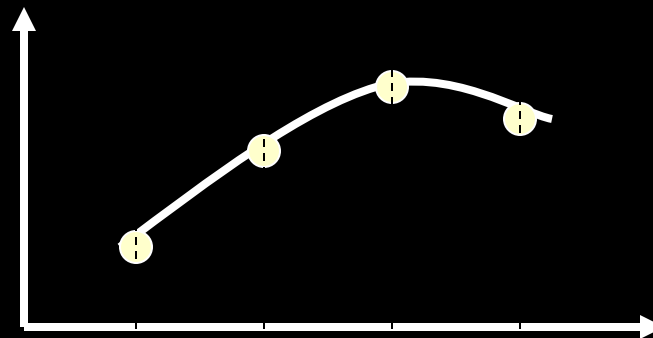
**Esfuerzo de tracción**  
[ kN]

2.6  
2.4  
2.2  
2.0  
1.8  
1.6



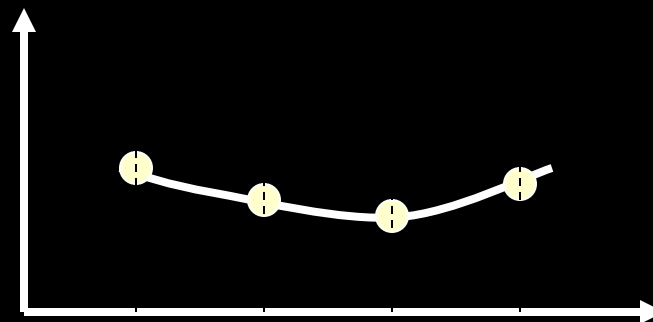
**Area removida**  
[ m<sup>2</sup>]

0.05  
0.04  
0.03  
0.02  
0.01



**Resistencia específica**  
[kN/ m<sup>2</sup>]

70  
60  
50  
40  
30



**Distanciamiento [mm]**

$d \cong 1.5 p$

# Implementos para roturar intensamente el suelo

- Cinceles flexibles
- Cinceles rígidos
- Escarificadores
- subsoladores

# Arcos flexibles



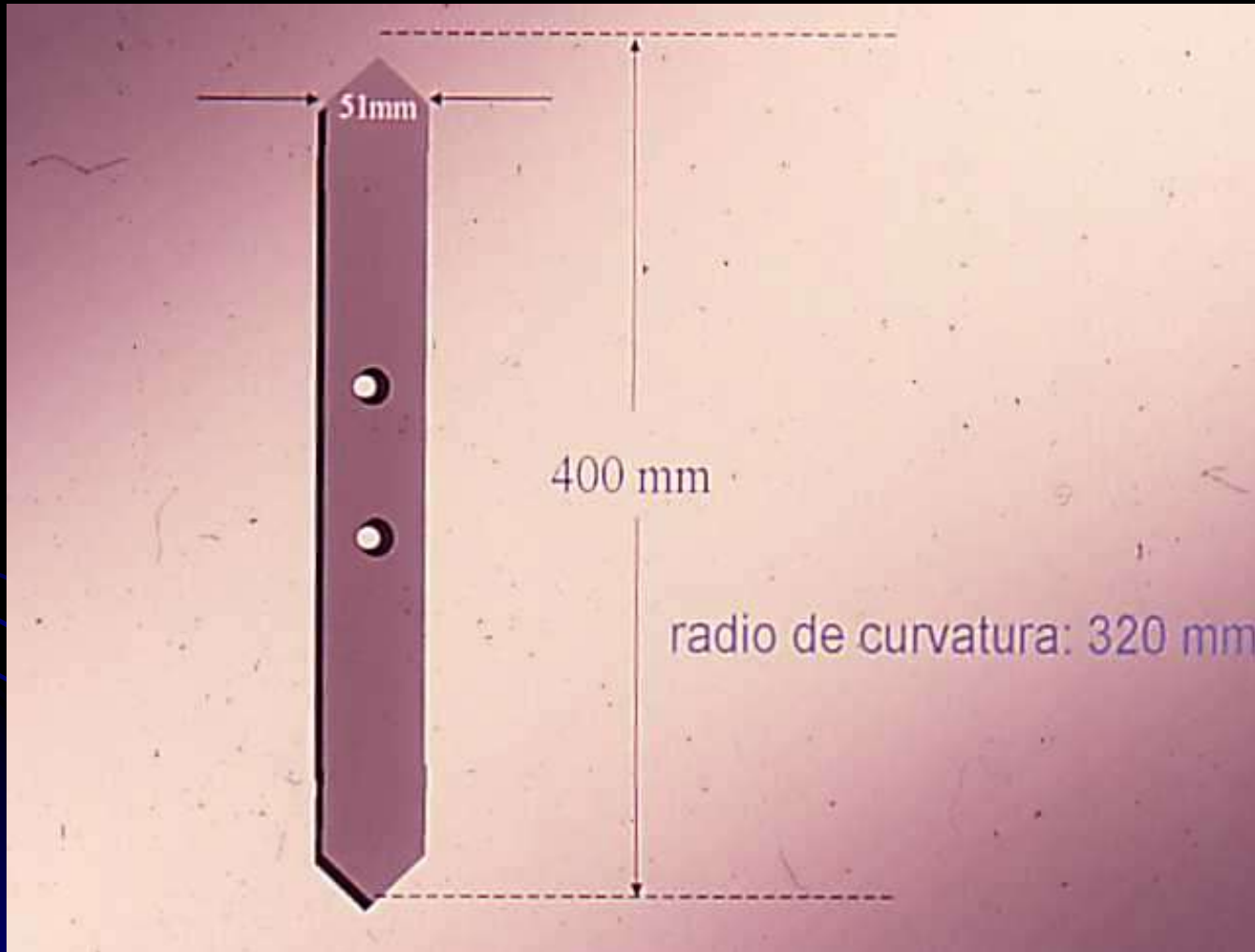
# Arcos o montantes Flexibles

- **Cinceles**

- **fueron los implementos más difundidos en los sistemas productivos de la Argentina**
- **Arcos de 1" ó 1,25" de espesor y 2" de ancho**
- **Despeje entre 0,60 m y 0,75 m**
- **Rejas reversibles convencionales**
- **1, 2 ó 3 radios de curvatura**



# Órganos activos. Rejas o púas





Mendoza, 2014

# Montantes rígidos rectos - Escarificadores



# Montantes rígidos rectos - subsoladores



# Implementos para fisurar el suelo

*G. Spoor et al. / Soil & Tillage Research 73 (2003) 175–182*

Subsolador con rejas aladas

Escardillos subsuperficiales

Subsoladores de montantes angulados lateralmente

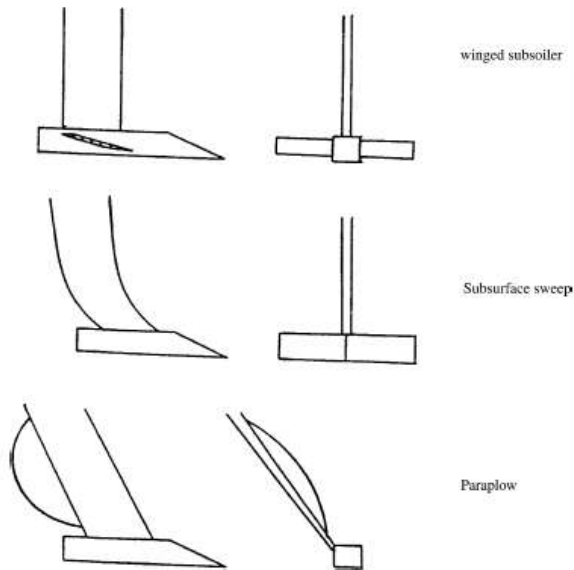


Fig. 3. Soil fissuring implements.

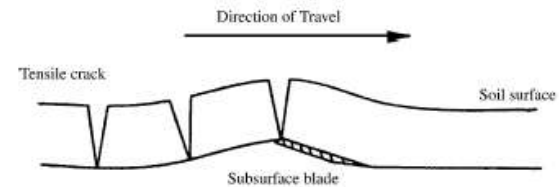


Fig. 2. Tensile soil failure with subsurface blade.

Escarificador con rejas  
aladas soldadas al montante





11/04/2







11/04/2016



11/04/2016

# Montante rígido inclinado lateral angulado Paratill



# Montante rígido inclinado lateral

curvo

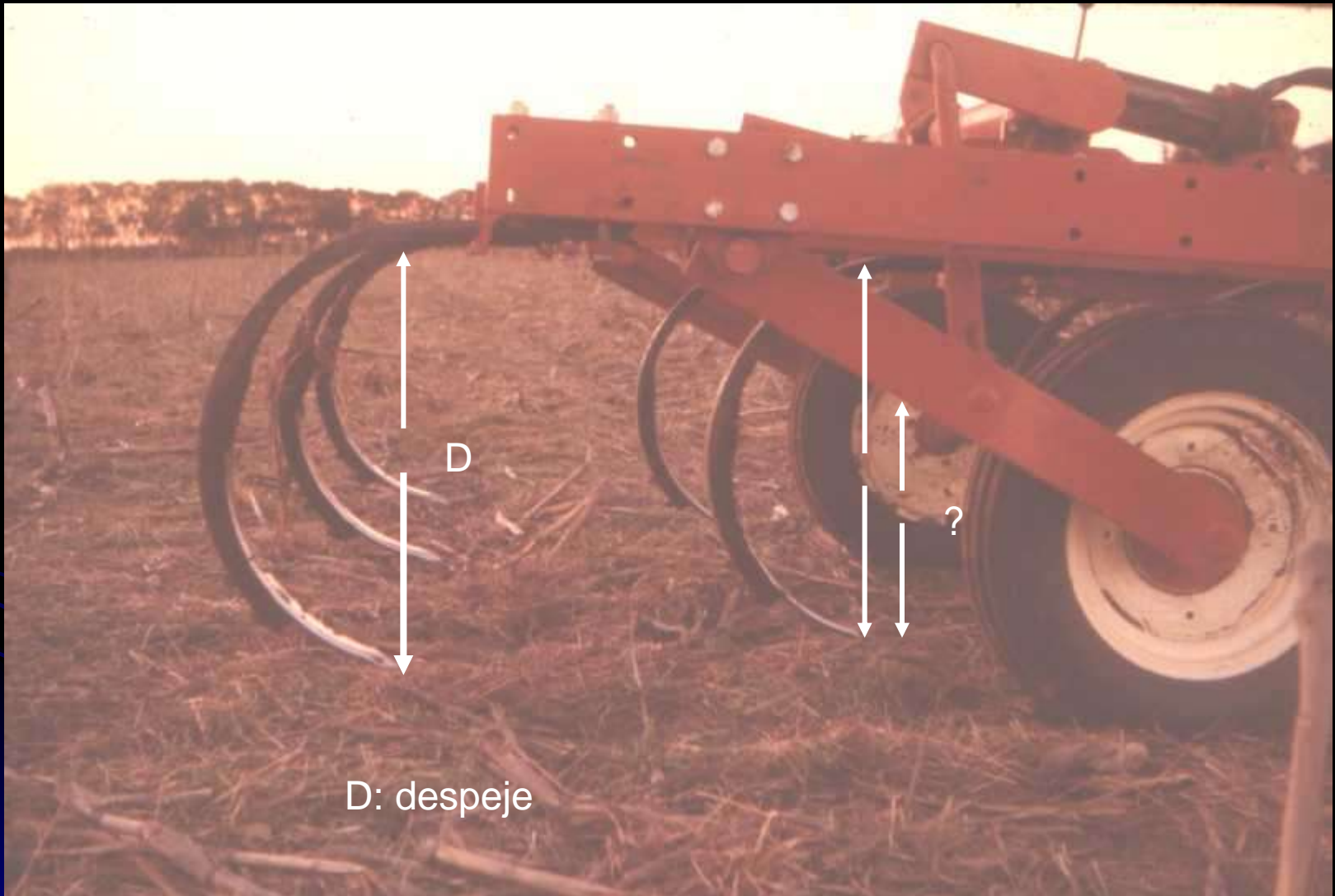




11/04/2016

# Características que se relacionan con la capacidad de paso

- Presencia y ubicación de elementos de corte de residuos
- Despeje
- Número de planos de acción de los órganos
- Distancia entre planos de acción
- Ubicación de ruedas
- **Profundidad de trabajo**



D: despeje



Número de planos: 2

d: distancia entre planos





**d: distancia entre montantes en un mismo plano**

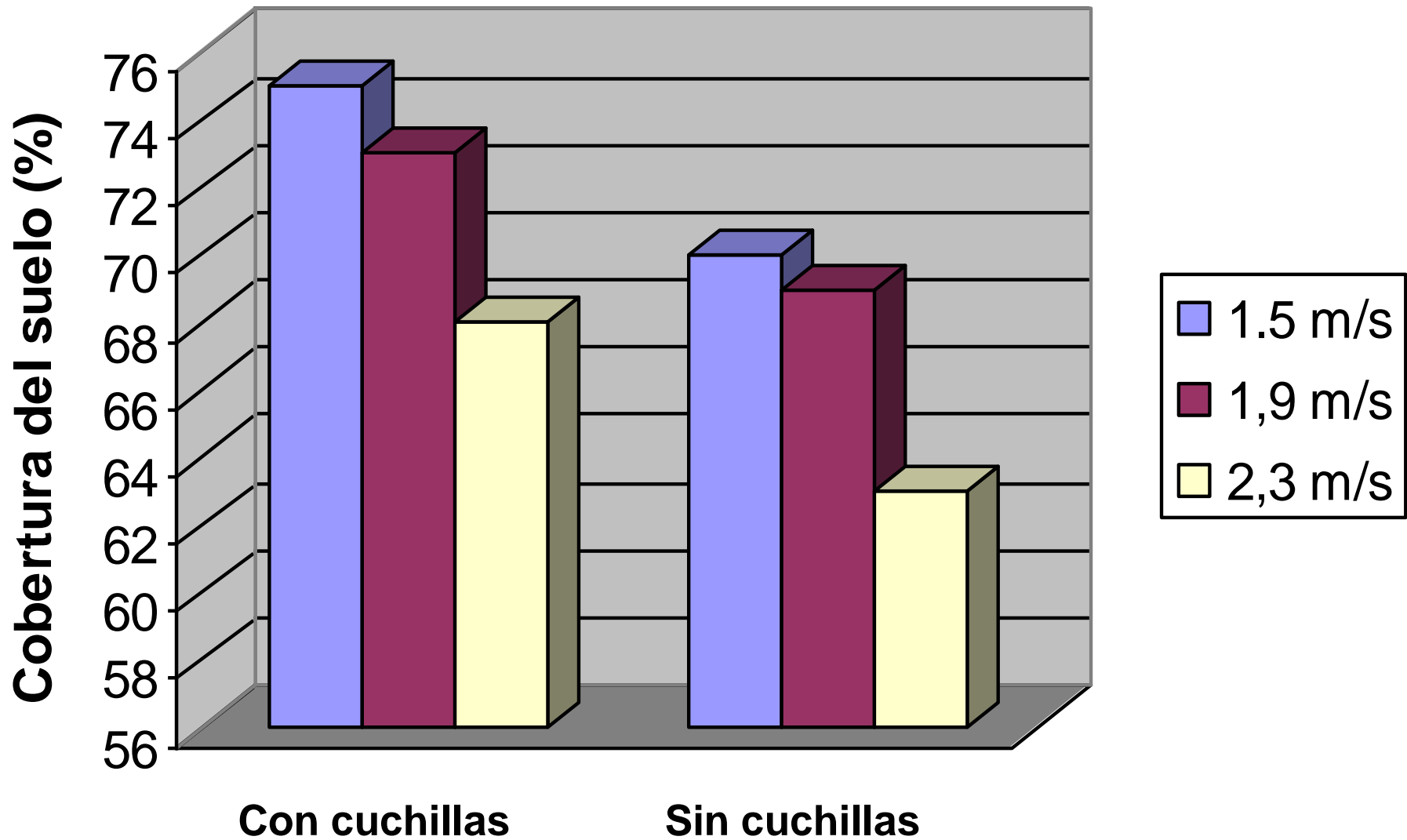
# Número de planos y distancia entre planos de acción

- **Resulta uno de los factores más importantes**
- **Cuanto mayor es el número mayores son las posibilidades de distanciamiento entre órganos activos**
- **La distancia entre planos de acción no debería ser menor a un metro**
- **Implica siempre un costo adicional de importancia, al aumentar la longitud del bastidor del implemento**

# PRESENCIA DE ÓRGANOS DE CORTE

- **La colocación de cuchillas circulares es determinante de la capacidad de paso de los escarificadores**
- **Influye notoriamente sobre los esfuerzos de tracción del implemento**
- **Incide sobre el área roturada**
- **Es un costo adicional**
- **Resulta conveniente su colocación alejada de los arcos, con resortes y con sistemas de fácil regulación**

# Efecto de la adición de cuchillas de corte y la velocidad de trabajo en los restos vegetales

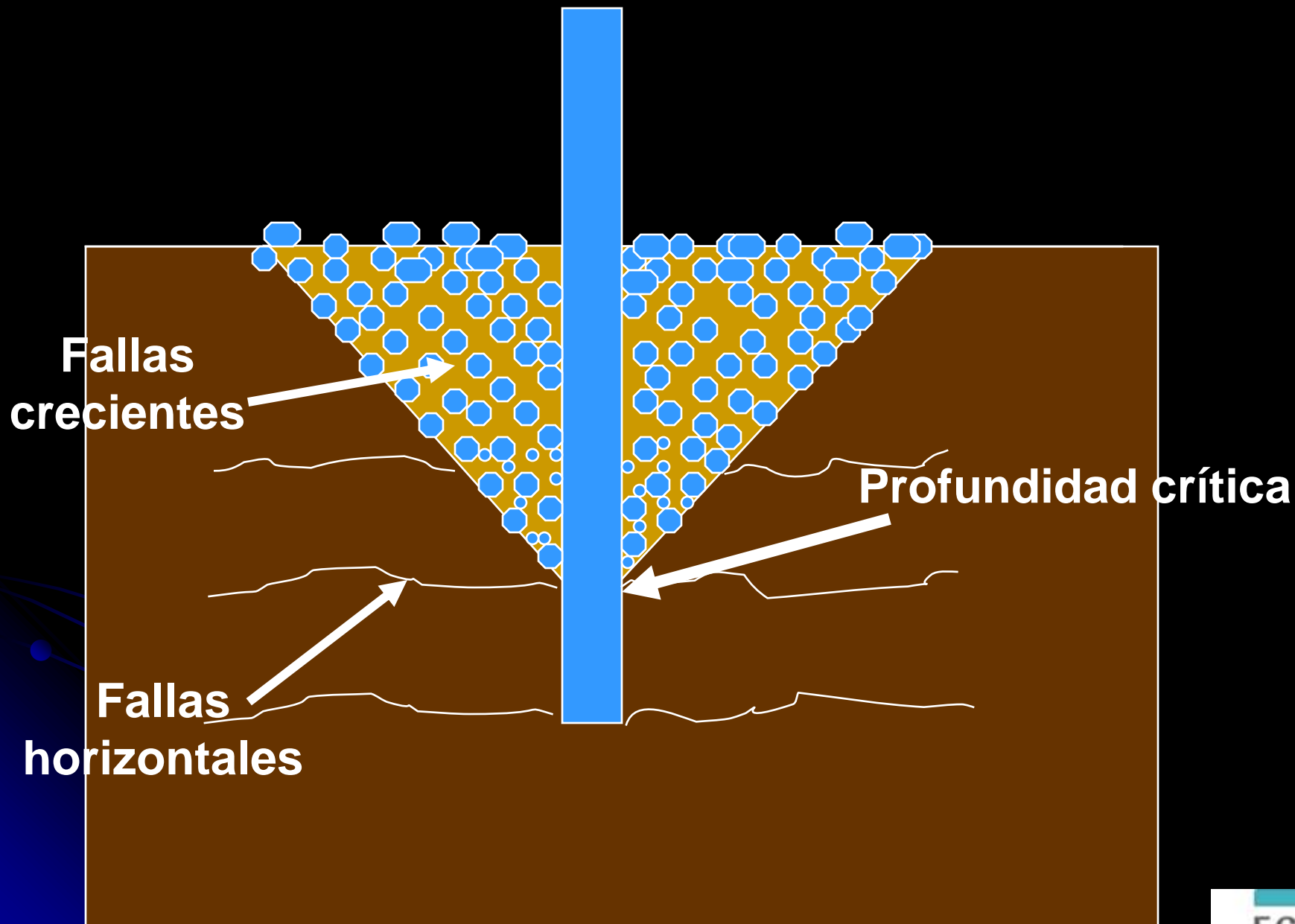


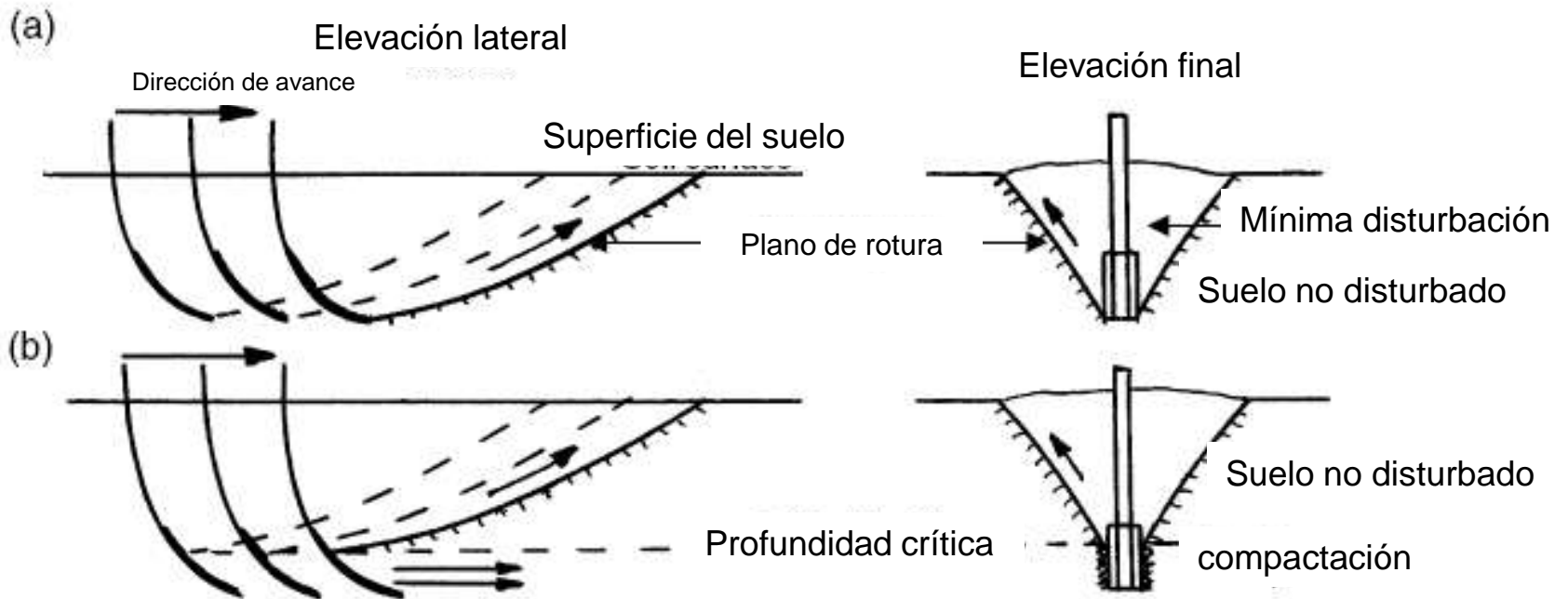


**Cuchillas individuales junto  
a los órganos activos**



Conjunto de montante y cuchilla circular lisa

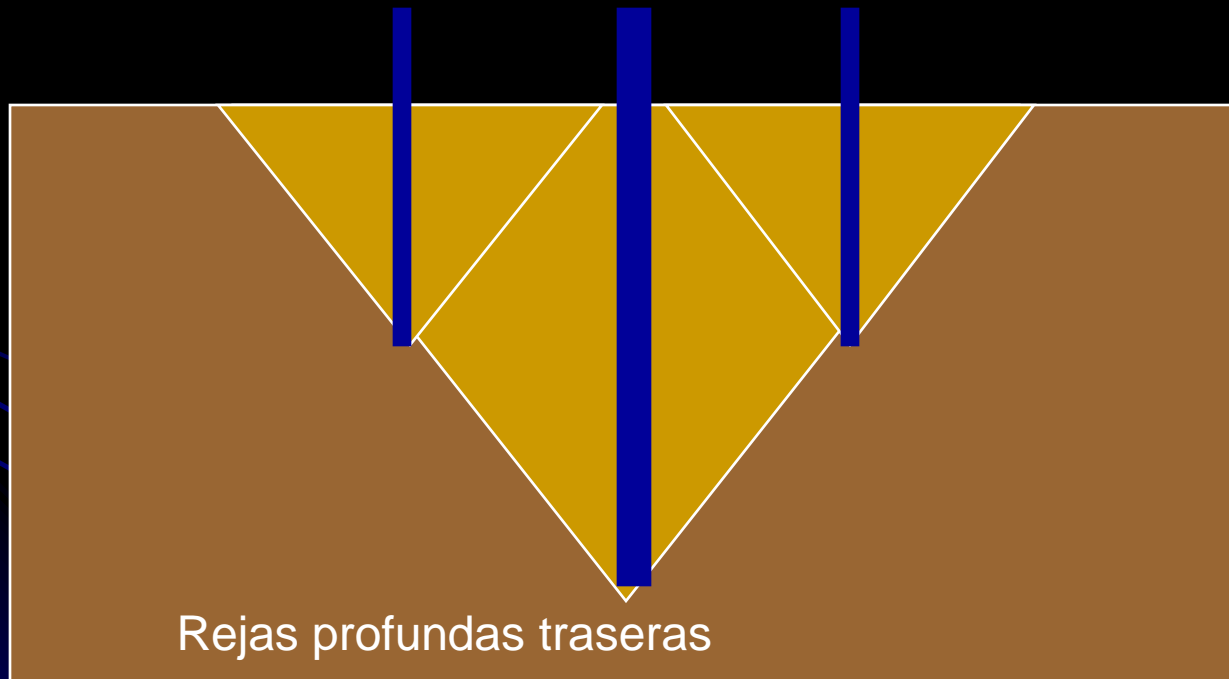






# Trabajo en 2 estratos

Rejas superficiales delanteras



# Implementos combinados



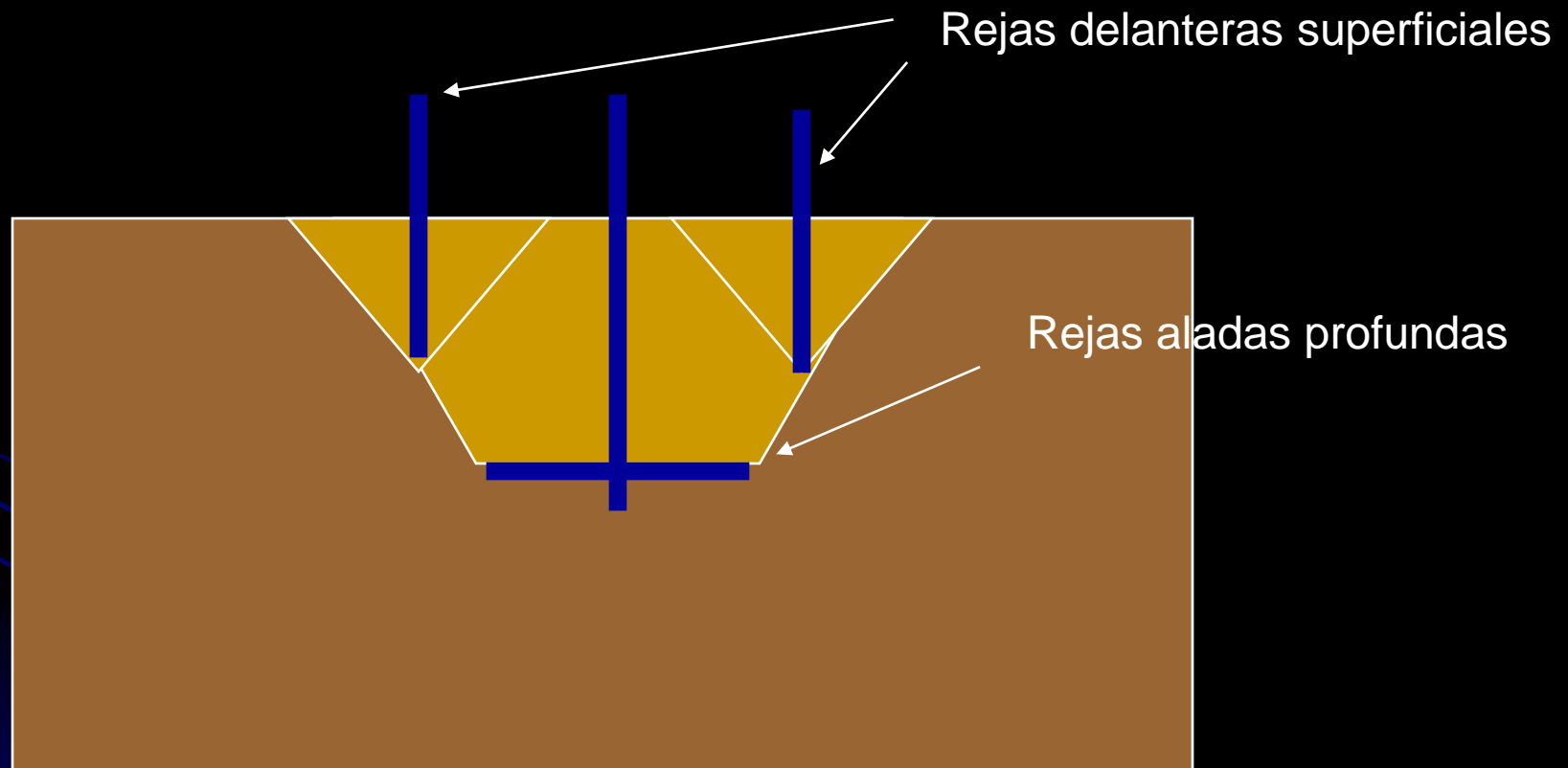
# Implementos combinados



# Implementos combinados



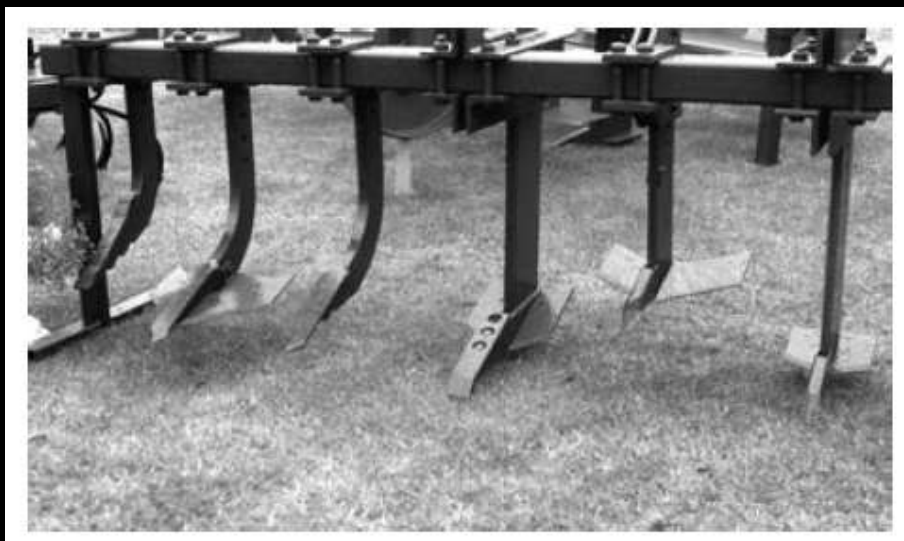
# Trabajos en 2 estratos en un solo pasaje combinando tipos de rejas



# Trabajo en múltiples estratos



Fig. 3. A new generation ripper (Agrowplow<sup>®</sup>) applying the shallow leading tine concept where tines are aligned behind each other to rip consecutive soil depths. The first tine rips the first 10 cm of the soil, the second tine rips the next 10 cm, the third and the fourth tines each rip the next 10 cm. The total depth ripped by the four tines is 40 cm.



11/04/2016



Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

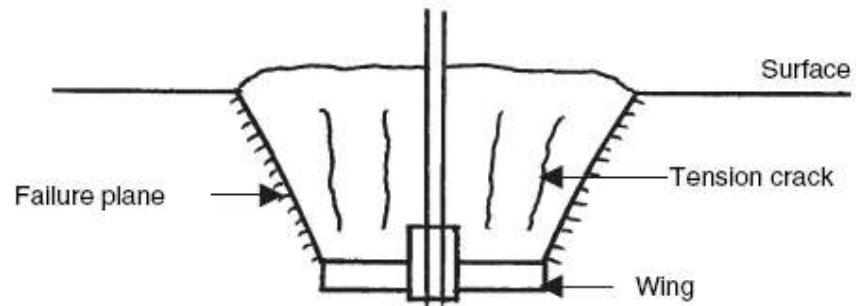
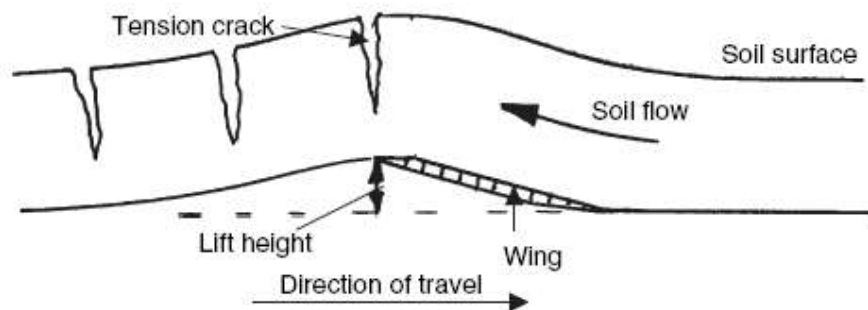
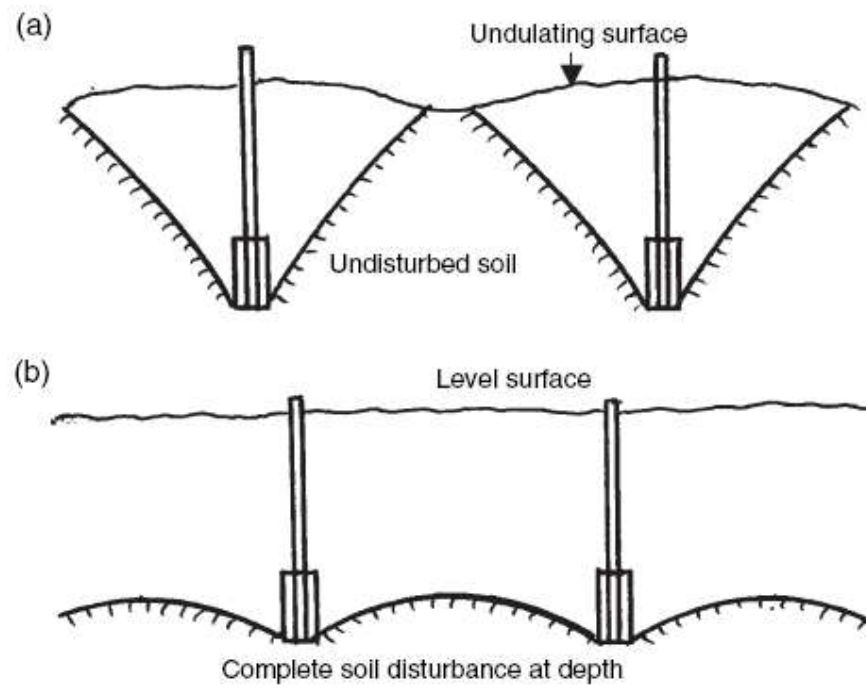


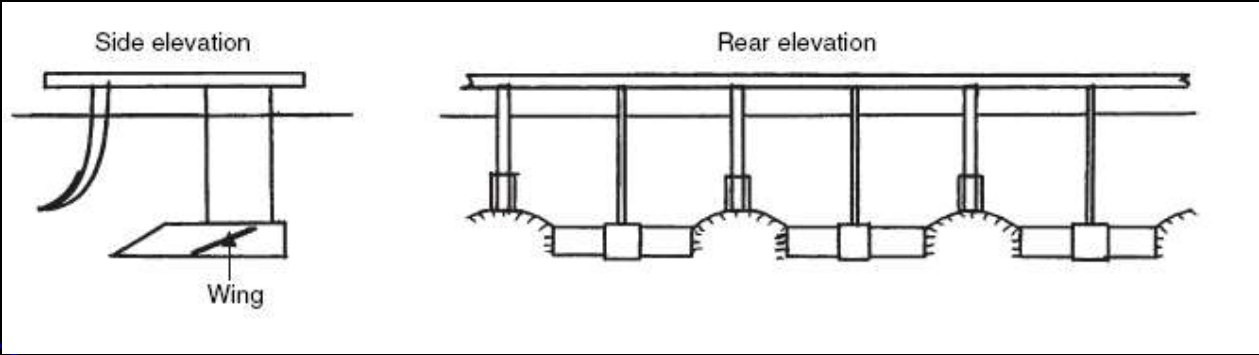
Figure 3 Soil disturbance with winged tine working above critical depth.







**Figure 5** Influence of tine spacing on soil disturbance: (a) wide spacing; (b) closer spacing.



# Implementos para fisurar el suelo

*G. Spoor et al. / Soil & Tillage Research 73 (2003) 175–182*

Subsolador con rejas aladas

Escardillos subsuperficiales

Subsoladores de montantes angulados lateralmente

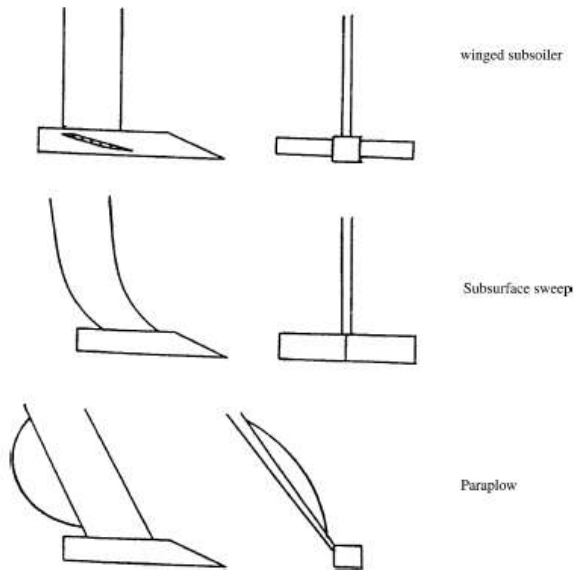


Fig. 3. Soil fissuring implements.

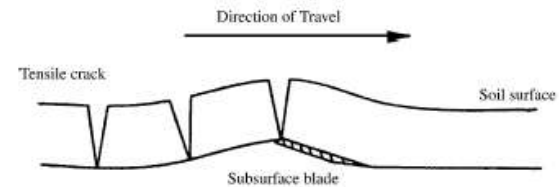


Fig. 2. Tensile soil failure with subsurface blade.





# Rejas aladas





11/04/2016



Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Escarificador con rejas  
aladas soldadas al montante



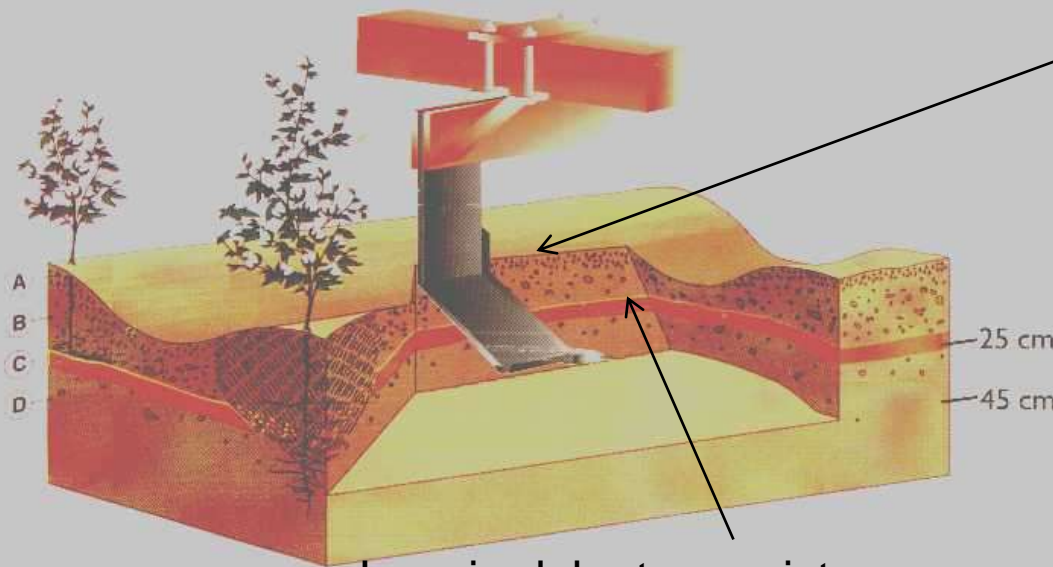




11/04/2016



Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



La reja delantera asiste principalmente a la penetración

La reja ubicada sobre el sector angulado del montante es la encargada de romper la capa compactada



**A COSTRA:**

Suelo interno hasta 5 cm. del perfil, que puede compactarse debido a lluvias intensas, granizos y sequías contribuyendo a formar capa dura en la superficie del suelo.

**B SUELO MEDIO PARCIALMENTE COMPACTADO**

Esta zona trabajada del suelo desde 3 cm. a 25 cm. de profundidad puede tornarse compactada o parcialmente compactada debido a excesivas pasadas y prácticas de trabajo.

**C CAPA DURA:**

En la mayoría de los casos, esta barrera a subsolar es encontrada desde los 15 cm. a 30 cm. debajo de la superficie.

**D SUBSUELO:**

La capa de suelo suelto por debajo de la capa dura agregará humedad y el sistema de raíces penetrarán en el subsuelo.



- La angulación del montante es de  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  ó  $60^\circ$
- Con  $30^\circ$ 
  - Se alcanzan al menos los mismos efectos de roturación y esfuerzos que con  $45^\circ$
  - Se podrían utilizar menor cantidad de órganos
  - Se podría ver limitada la capacidad de roturación en profundidad
- Con  $60^\circ$ 
  - Se dificulta el movimiento del suelo al paso del implemento

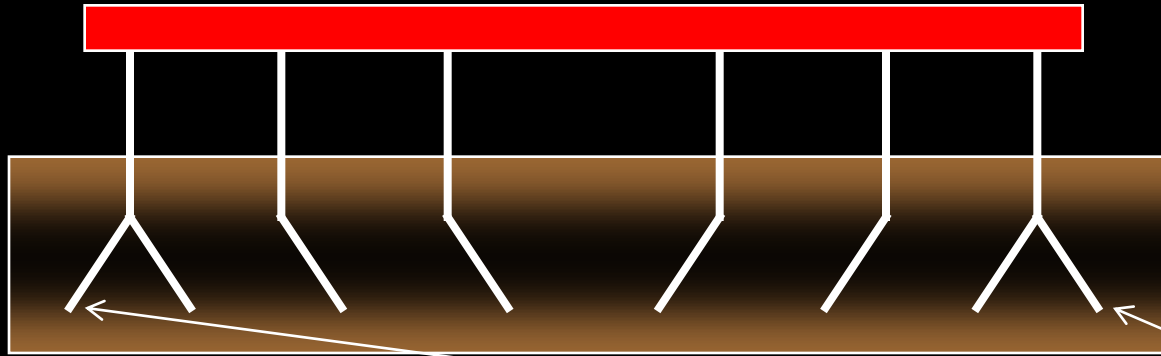
# Montantes curvos



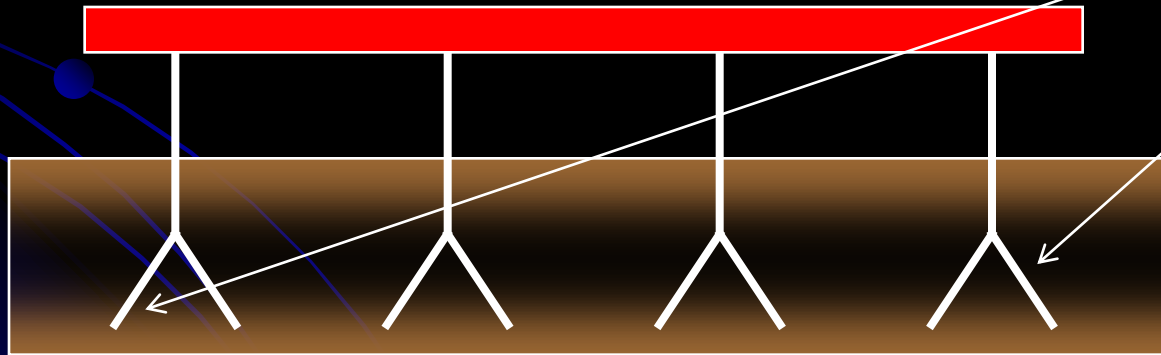


11/04/2016

Convergentes hacia el centro

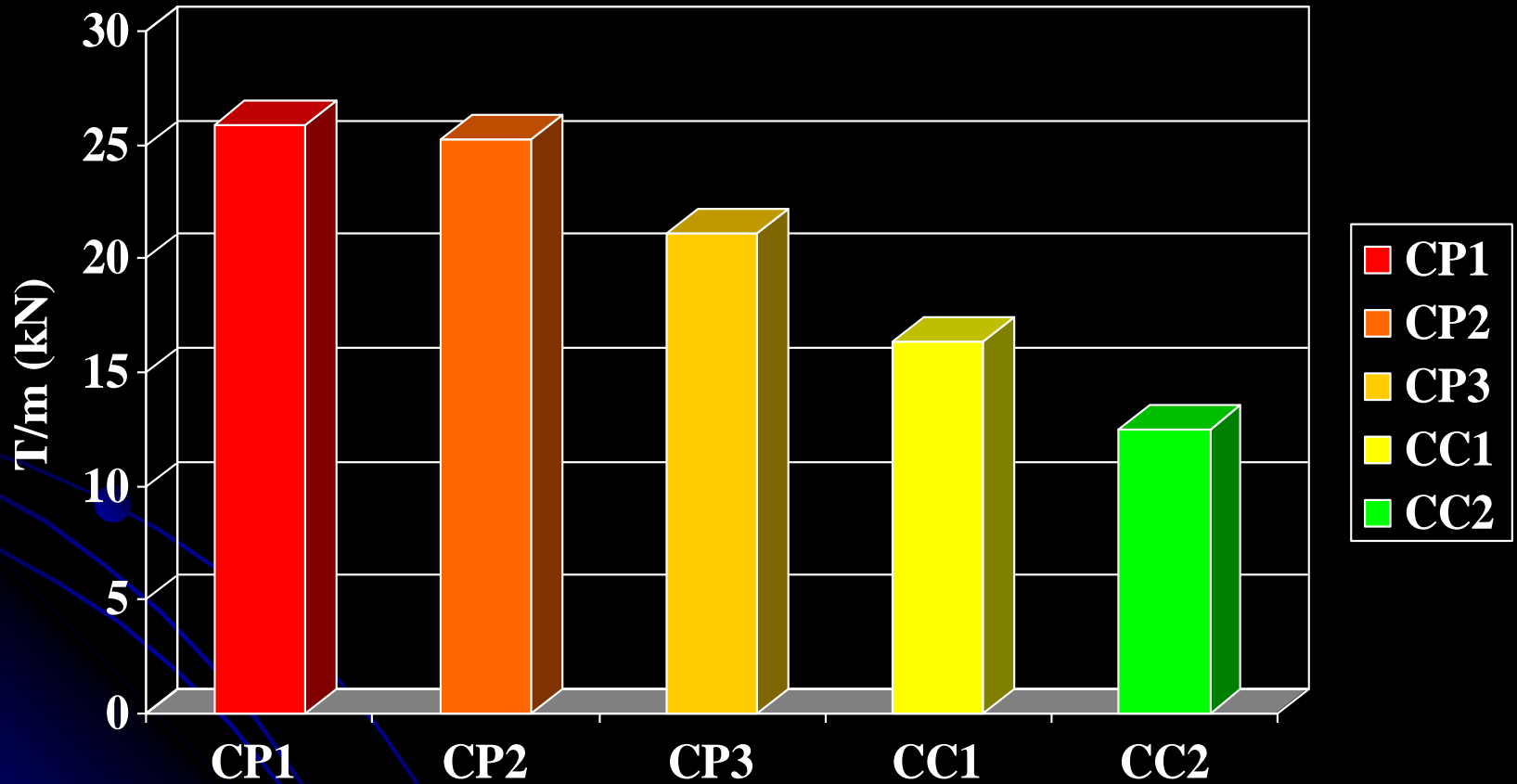


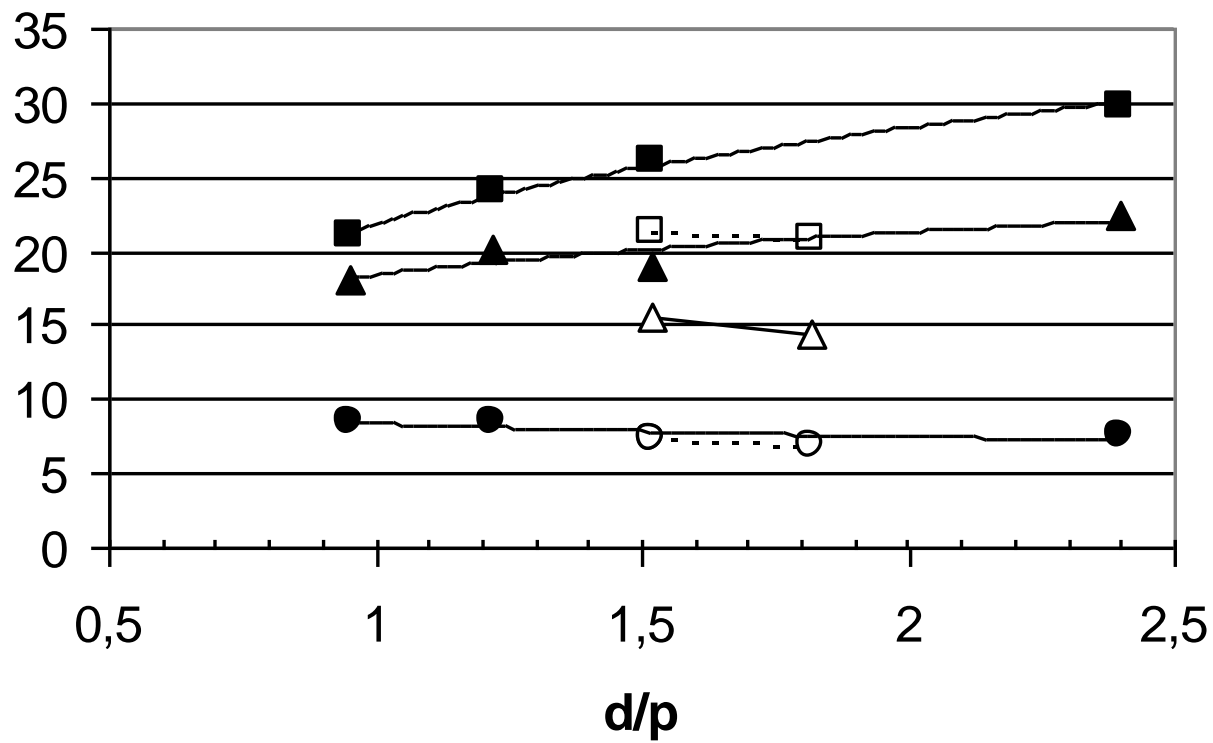
Convergentes por pares



Los arcos externos hacia afuera pueden o no estar

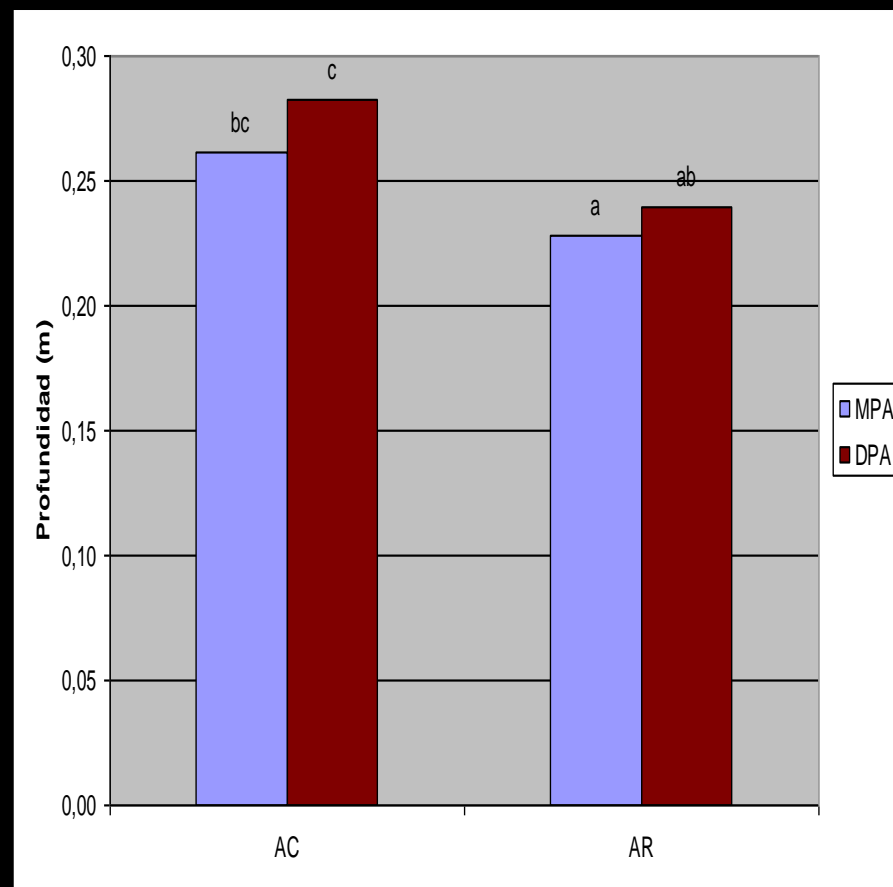
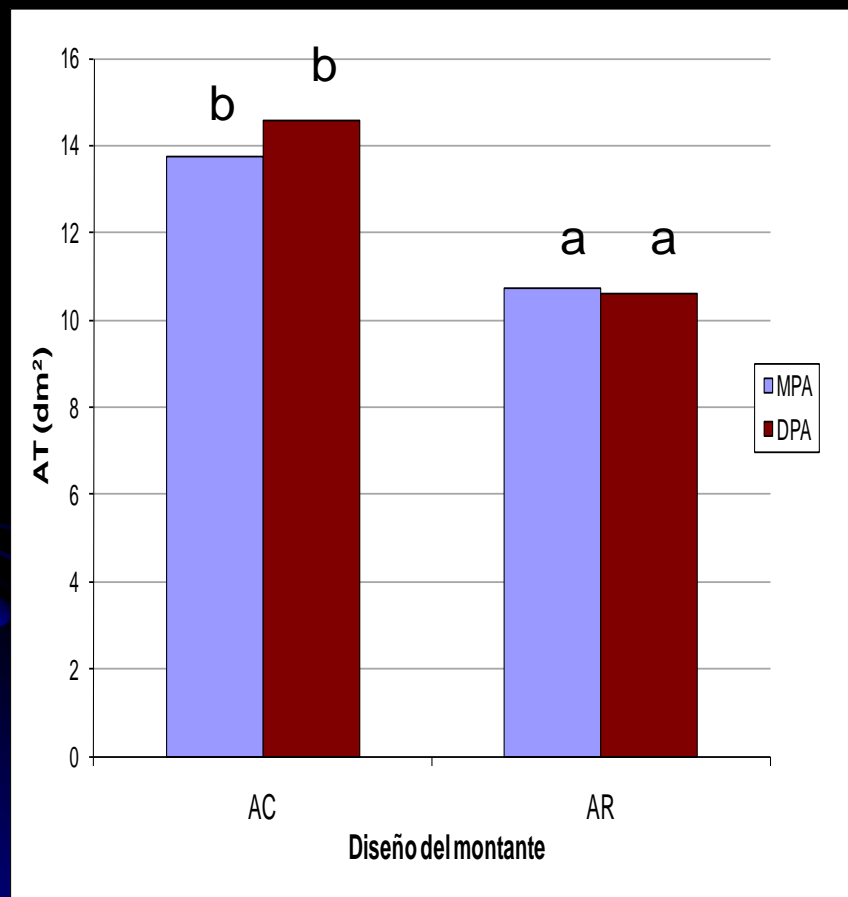
# Esfuerzo de tracción/m de ancho de labor

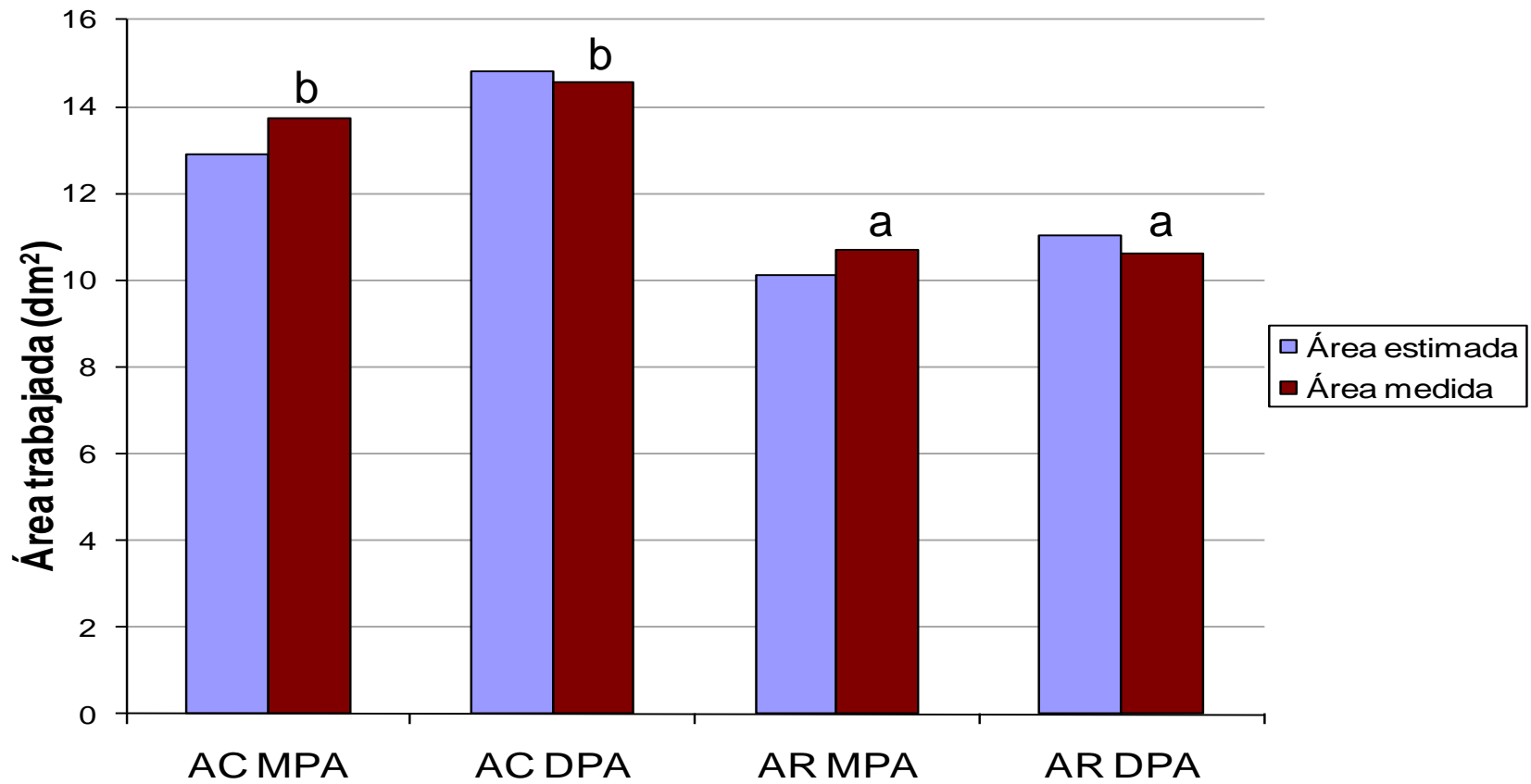


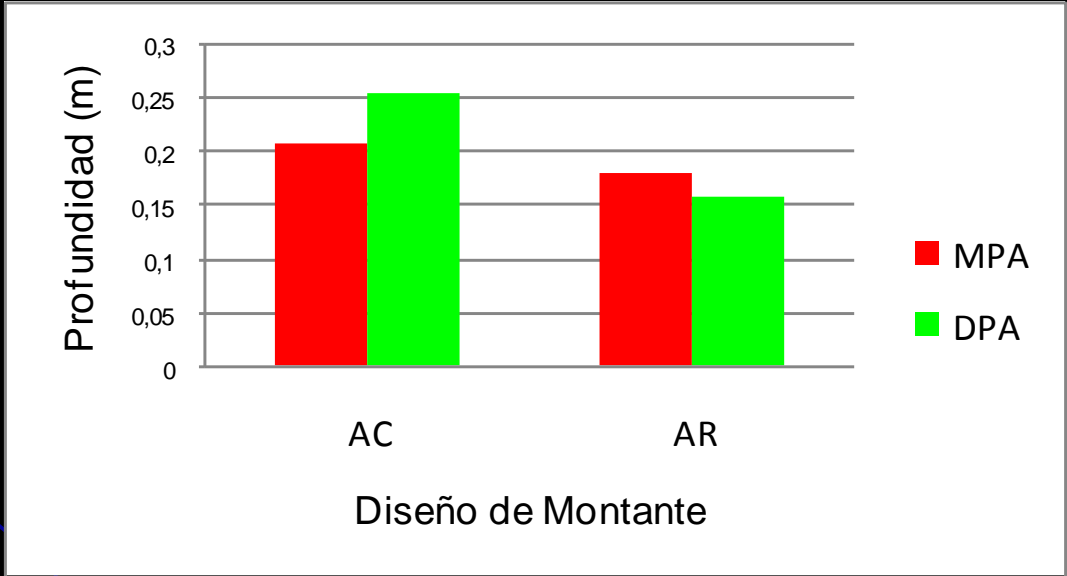


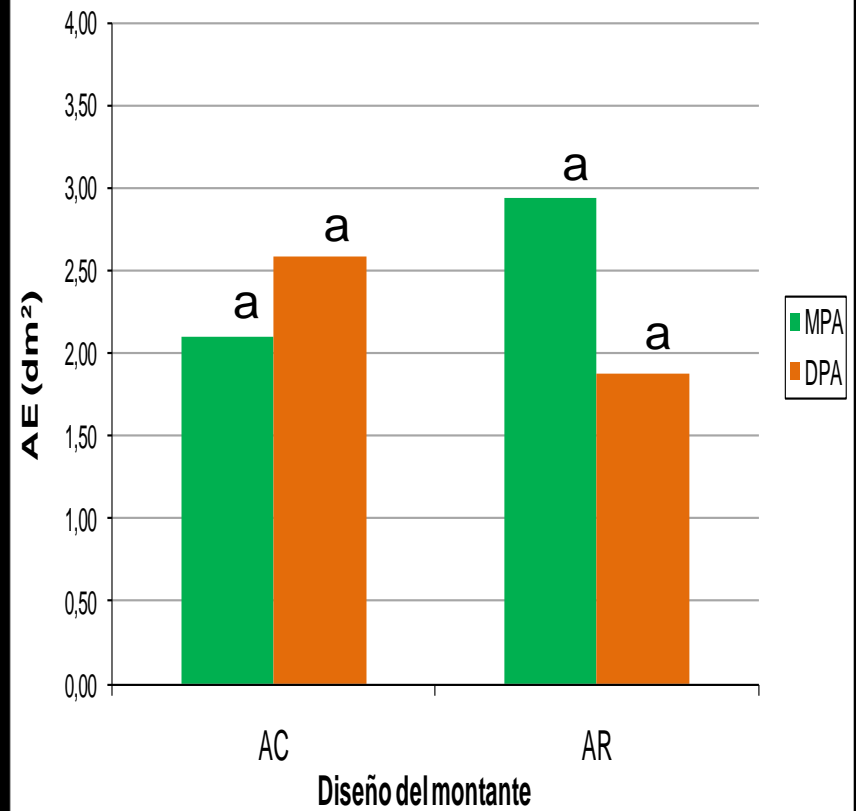
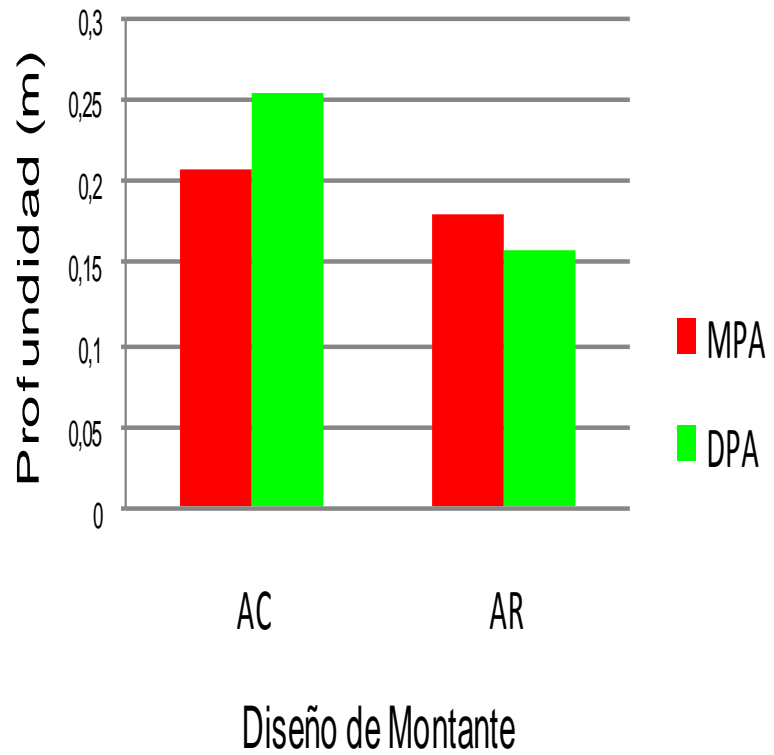


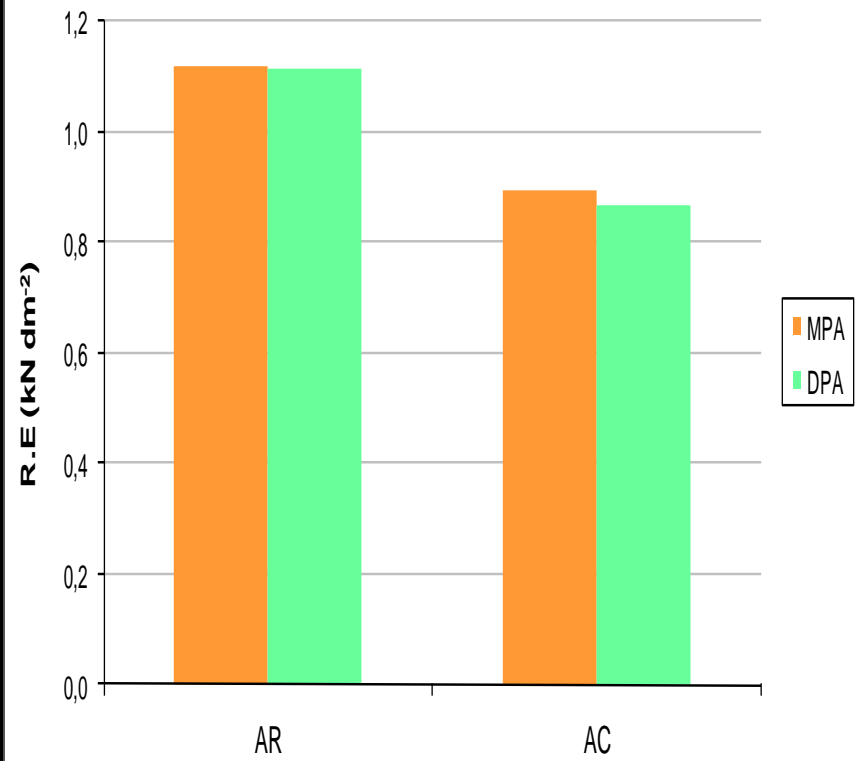
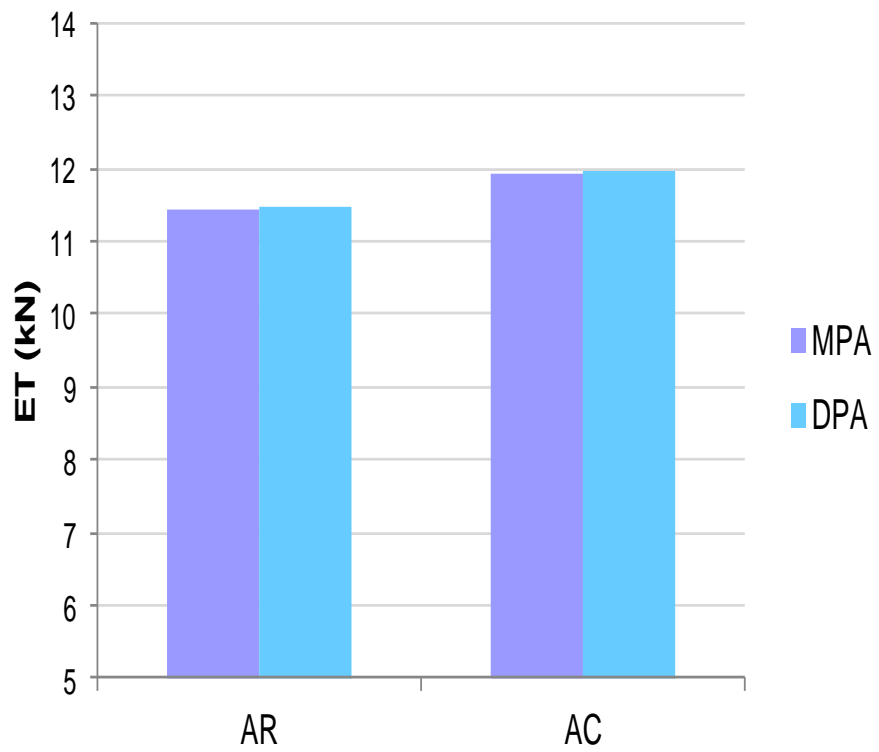
# Diseño y configuración de Paratill







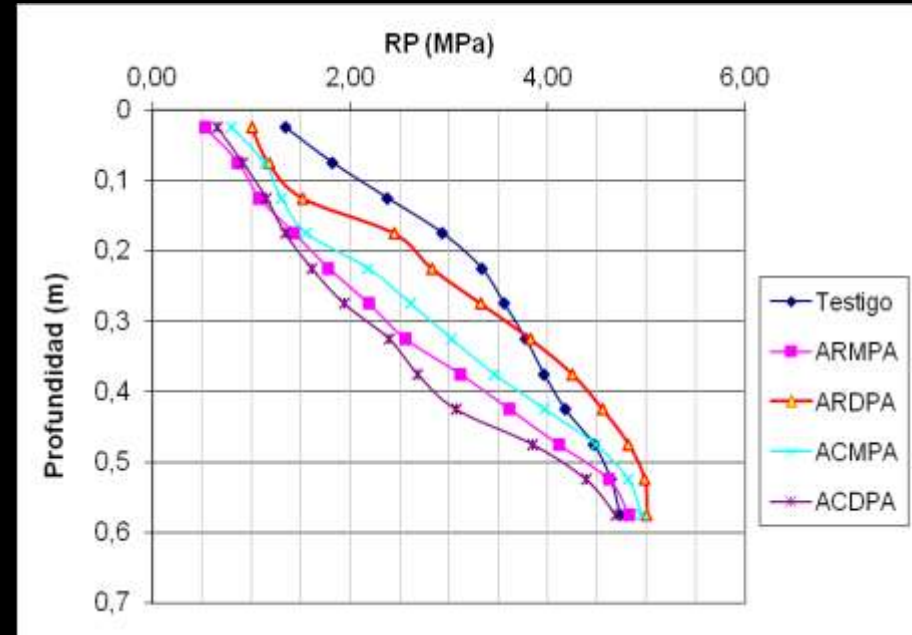
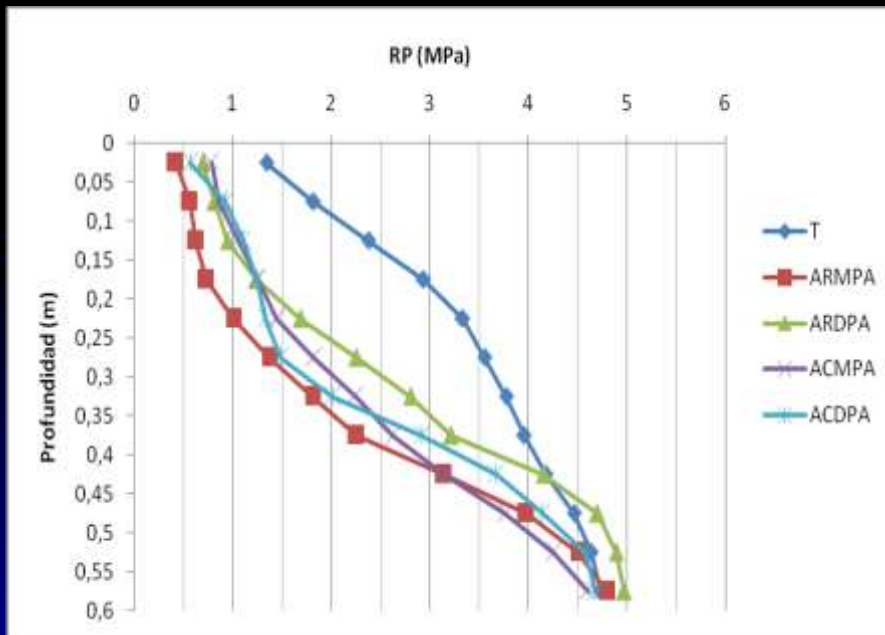




# Resistencia a la penetración

En coincidencia con la  
reja

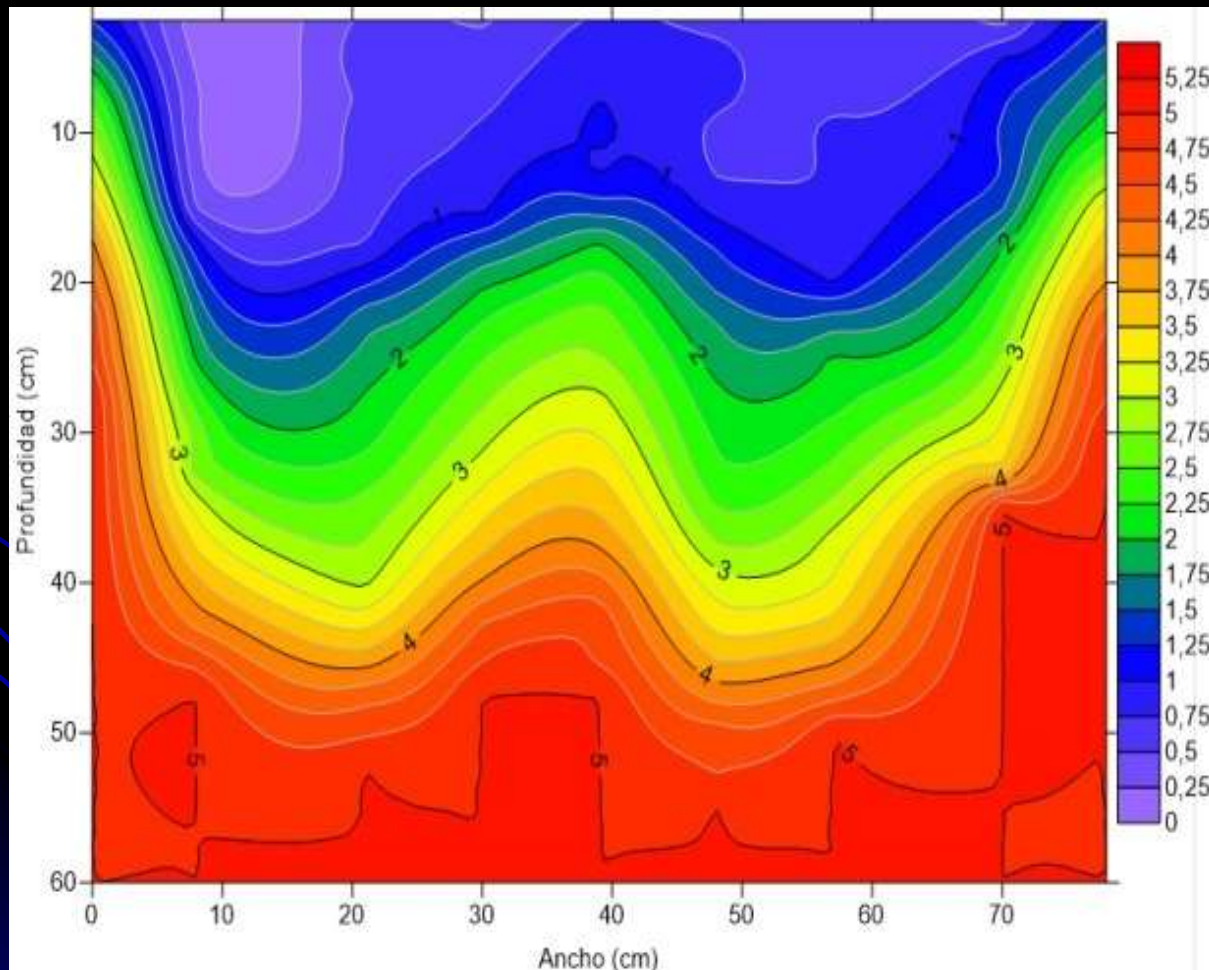
En la zona intermedia  
entre rejas





# Resistencia a la penetración

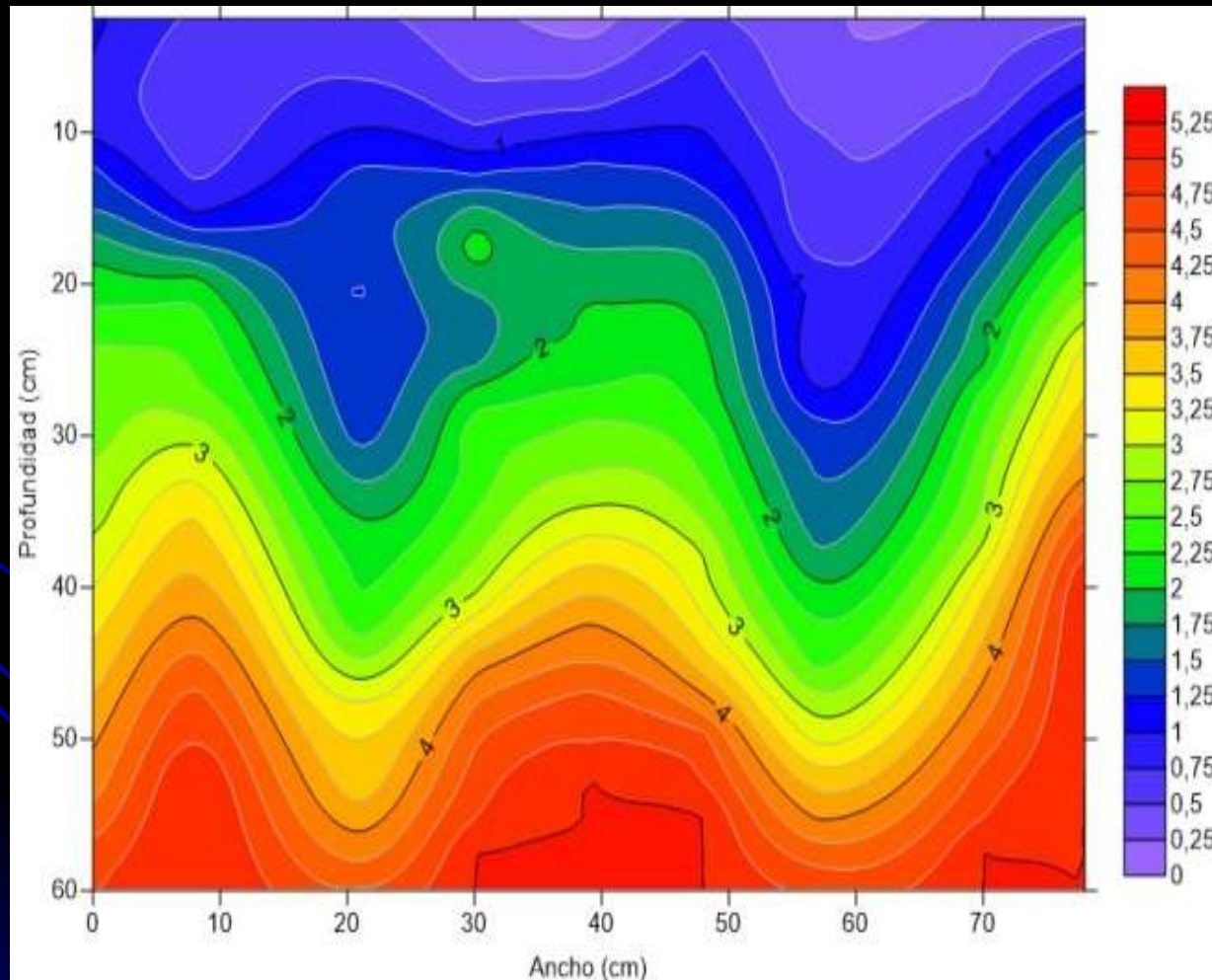
Gráfico de iso-resistencia: Montantes rectos en el mismo plano de acción





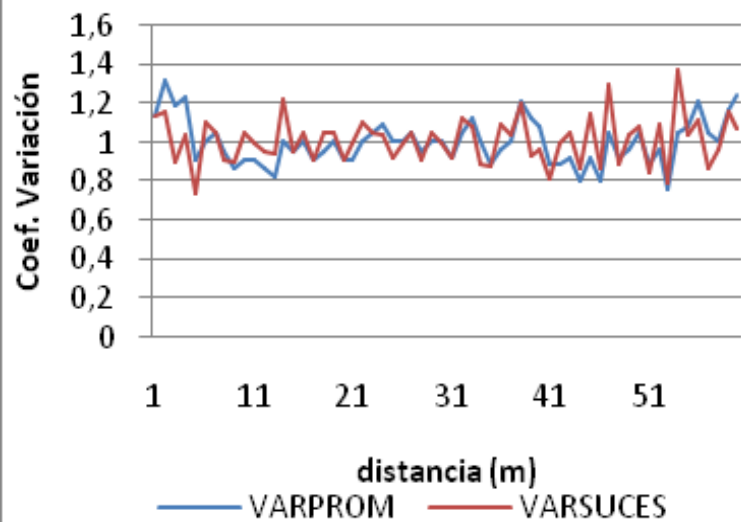
# Resistencia a la penetración

Gráfico de iso-resistencia: Montantes curvos en el mismo plano de acción

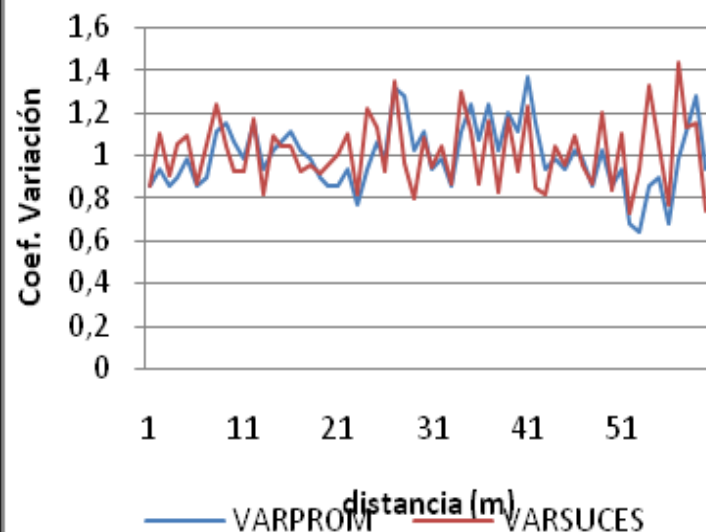




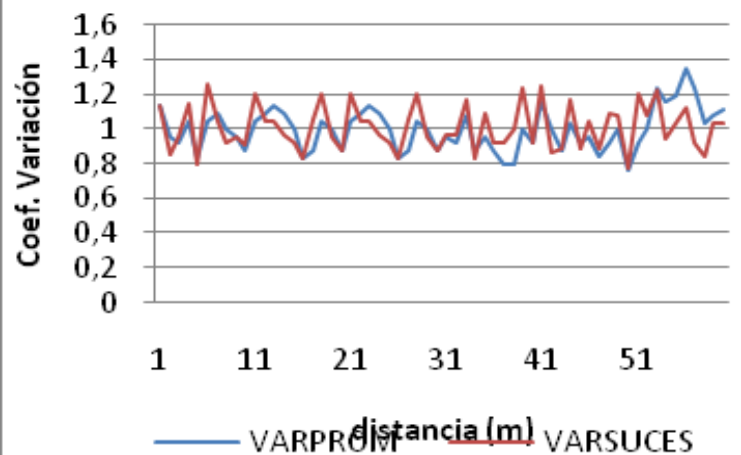
### ARDPA



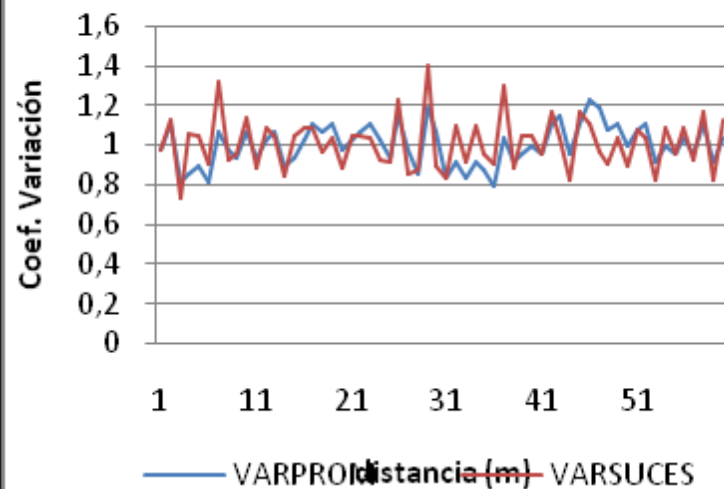
### ARMPA



### ACDPA



### ACMPA

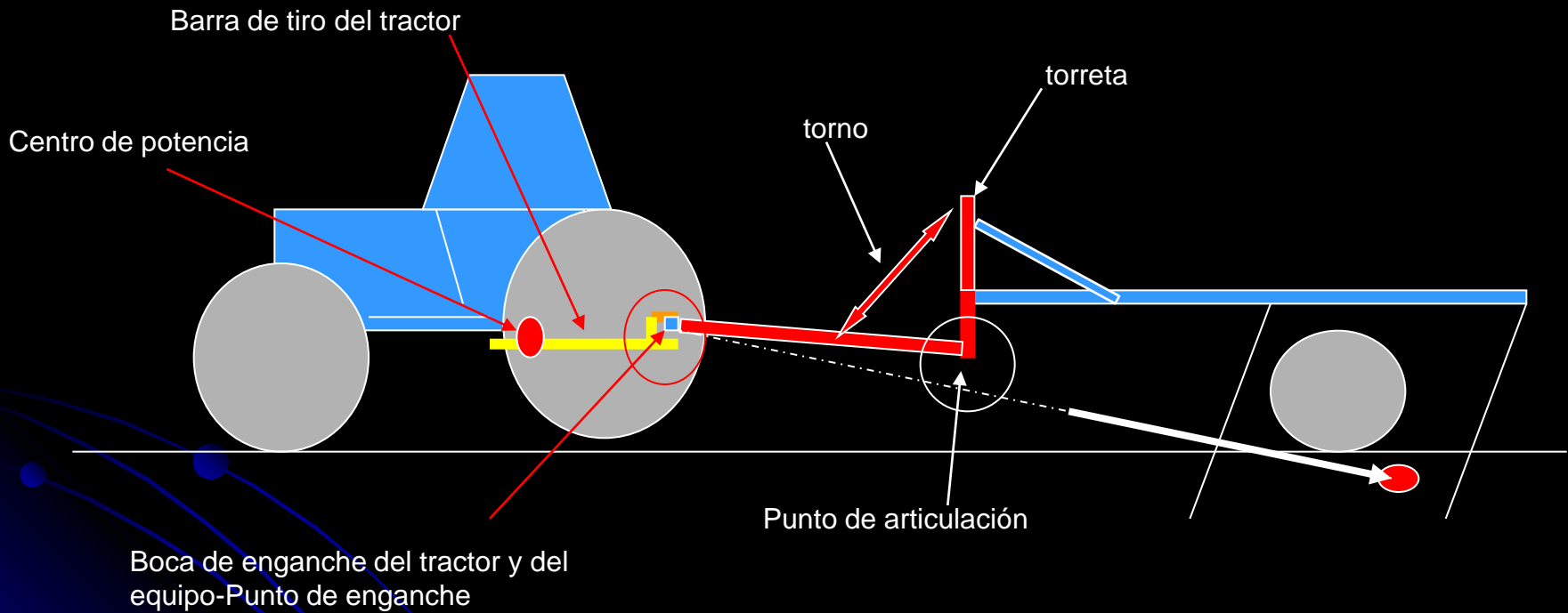


# Comportamiento dinámico

- Sistema de enganche
  - Lanza
  - Lanza articulada
- Sistema de rodado
  - En un único eje
    - Single
    - Doble en balancín
- Ubicación relativa de ruedas y órganos activos
  - Delantera
  - Media
  - Trasera

- El sistema de rodado en cuanto a su diseño y ubicación determina que los equipos se comporten dinámicamente como **semi-montados**, pese a su vinculación a través de la barra de tiro del tractor

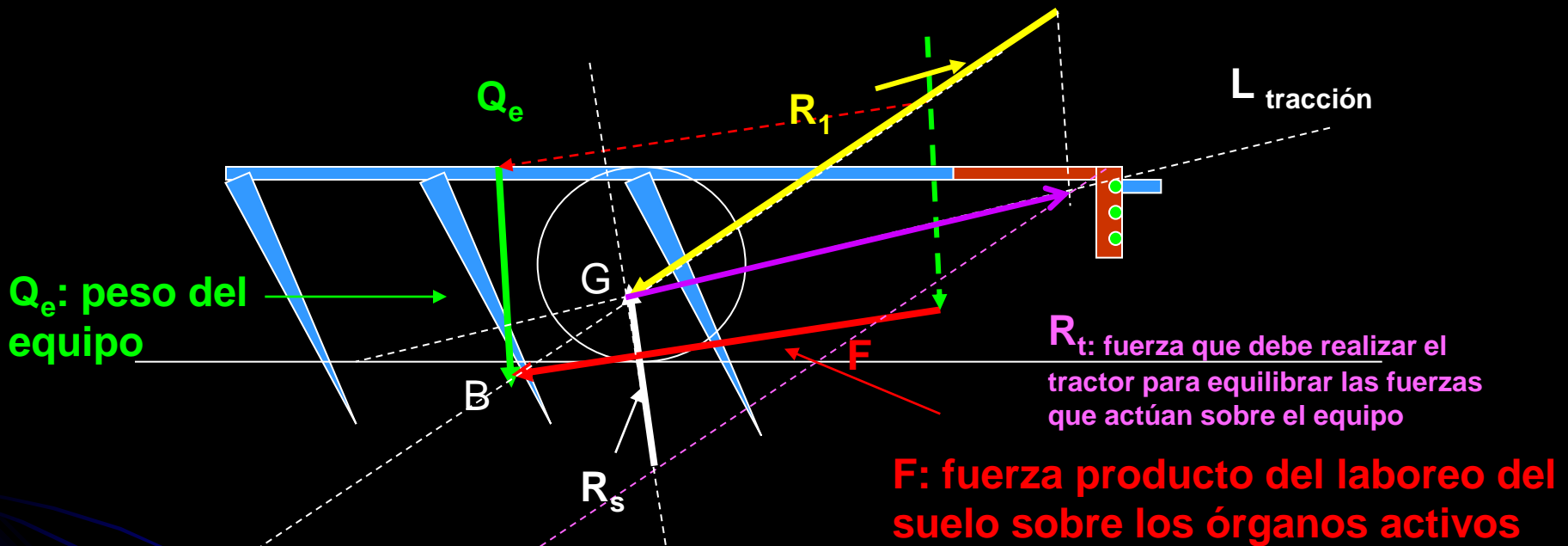
# Enganche tipo lanza articulada



# Sistema de fuerzas en el plano vertical

- la pendiente de la fuerza resultante del conjunto, las cargas dinámicas que se producen sobre el tractor y las ruedas propias del equipo son función de:
  - la magnitud de las fuerzas producto de la labor del suelo
  - la ubicación de las ruedas en el plano longitudinal
  - la altura del enganche
  - la longitud de la lanza
  - el peso del equipo

# Ruedas adelante. Barra de tiro corta



La fuerza  $F$  que realiza el suelo sobre los órganos activos y el peso  $Q_e$  del equipo determinan el punto  $B$  y dan como resultado a  $R_1$ .  $R_s$  es la fuerza de soporte del suelo que pasa ligeramente por detrás del eje de la rueda.  $R_1$  y  $R_s$  determinan el punto  $G$  y a partir del mismo la línea de tracción  $L$  en función de la posición de la boca de enganche del equipo y la altura de la barra de tiro del tractor, resultando  $R_t$  la fuerza que realizará el tractor

superficial

< 4 cm ó < 2MPa

Sembradora  
Rastras de discos  
Extirpadores

$A_p$

0,20-1m

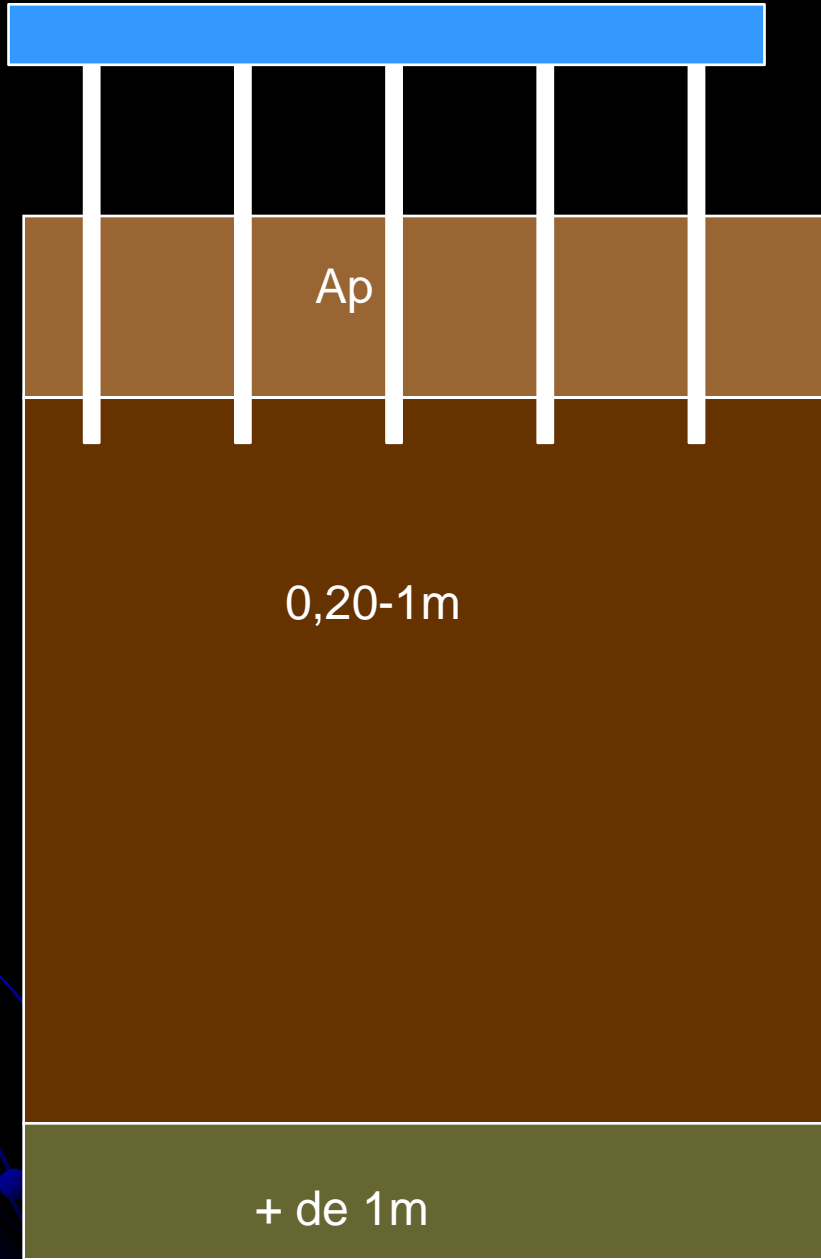
> 4 cm > 2MPa

subsuperficial

profunda

11/04/2016

+ de 1m



superficial

Cinceles flexibles

Cinceles rígidos-  
escarificadores rígidos

< 4 cm ó < 2MPa

> 4 cm > 2MPa

subsuperficial

profunda

11/04/2016

+ de 1m



superficial

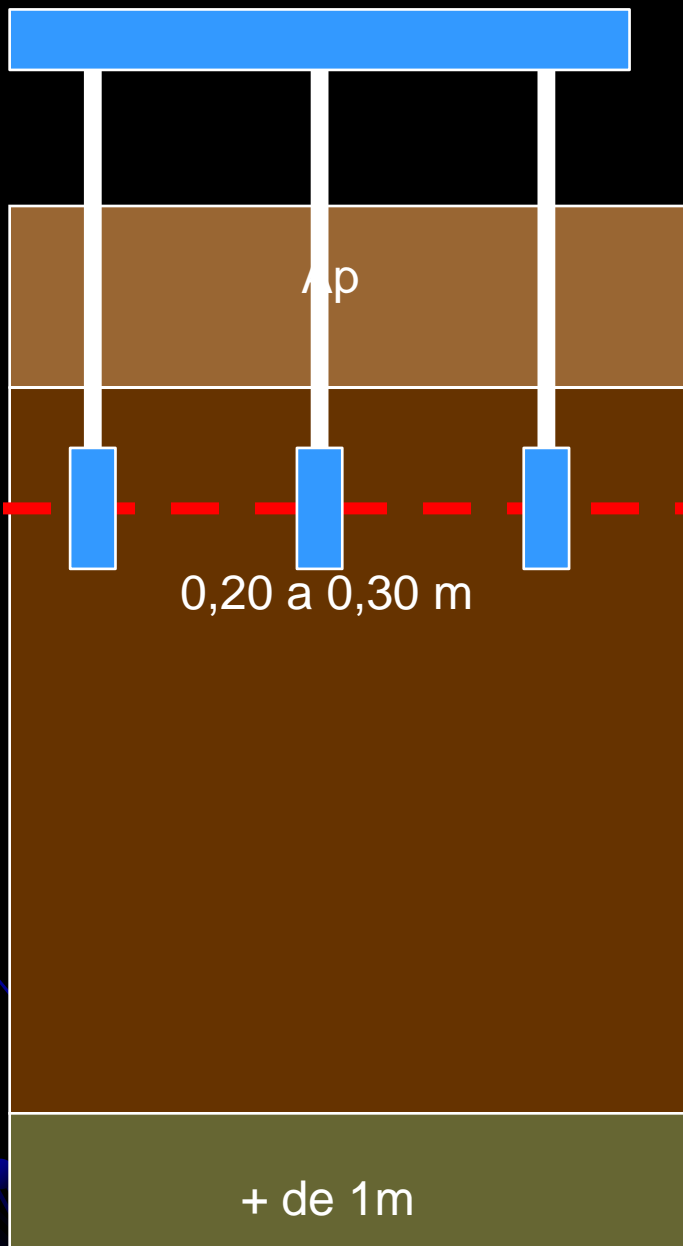
< 4 cm ó < 2MPa

No es necesario descompactar

subsuperficial

profunda

11/04/2016

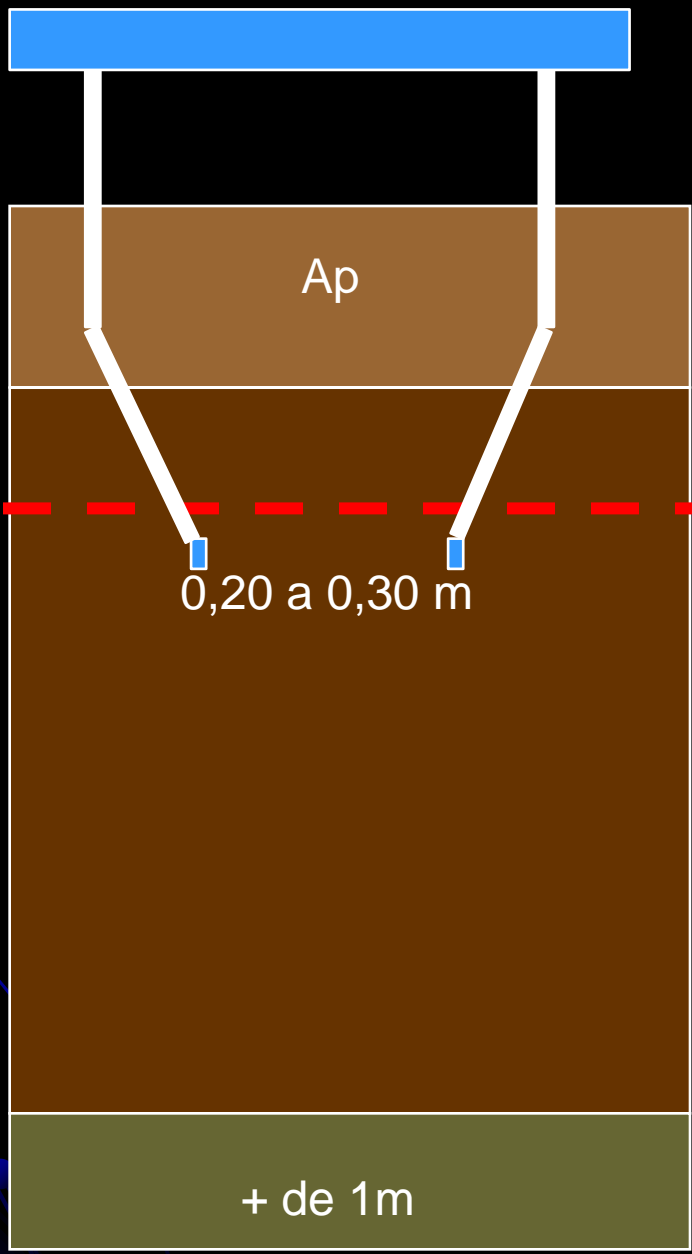


Cinceles rígidos-  
escarificadores-  
paratill

Es necesario descompactar

> 4 cm > 2MPa

superficial



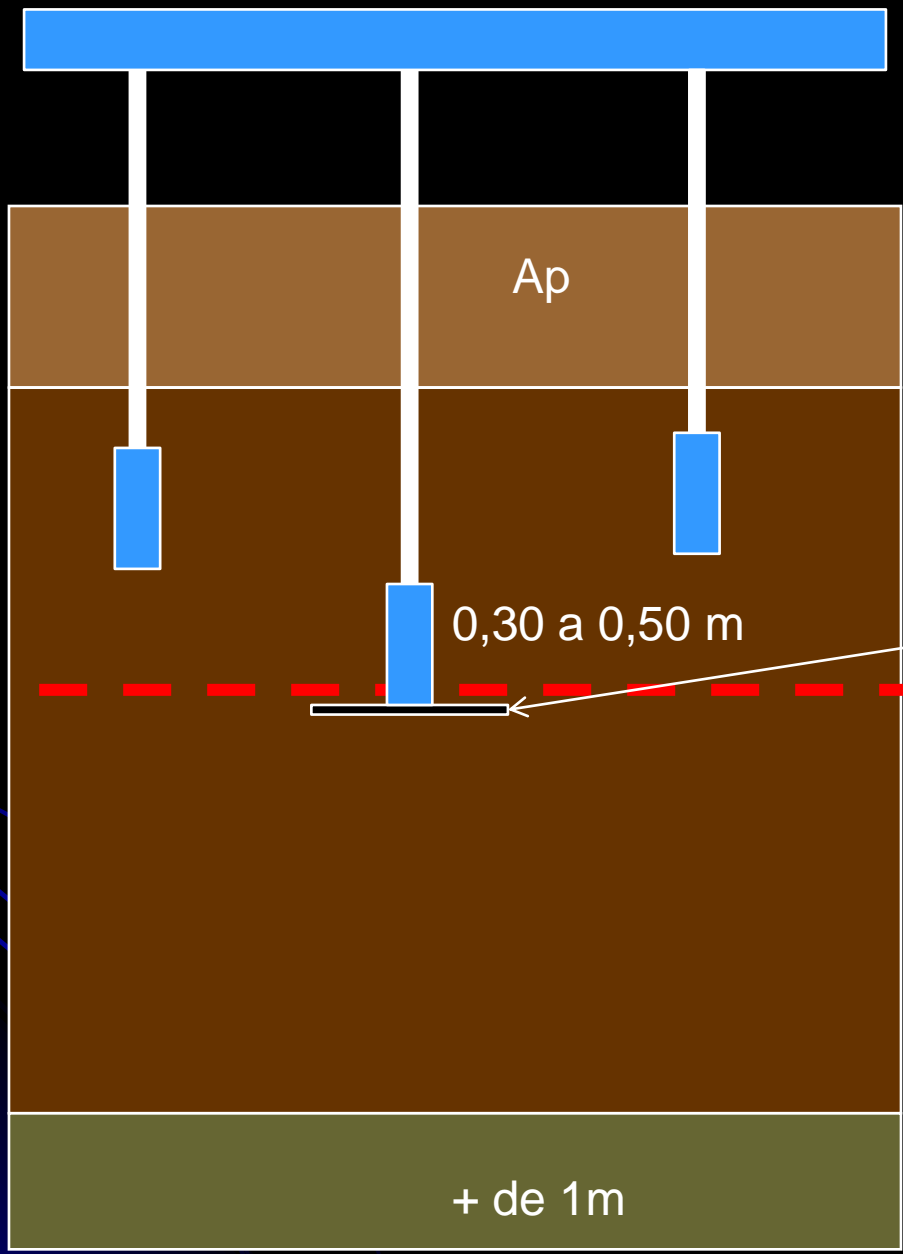
Cinceles rígidos-  
escarificadores-  
paratill

subsuperficial  
< 4 cm ó < 2MPa  
No es necesario  
descompactar

> 4 cm > 2MPa  
Es necesario  
descompactar

profunda  
11/04/2016

+ de 1m



superficial

Ap



< 4 cm ó < 2MPa

No es necesario descompactar

subsuperficial

Subsolador alado trabajando en 2 estratos

Reja profunda alada

0,30 a 0,50 m

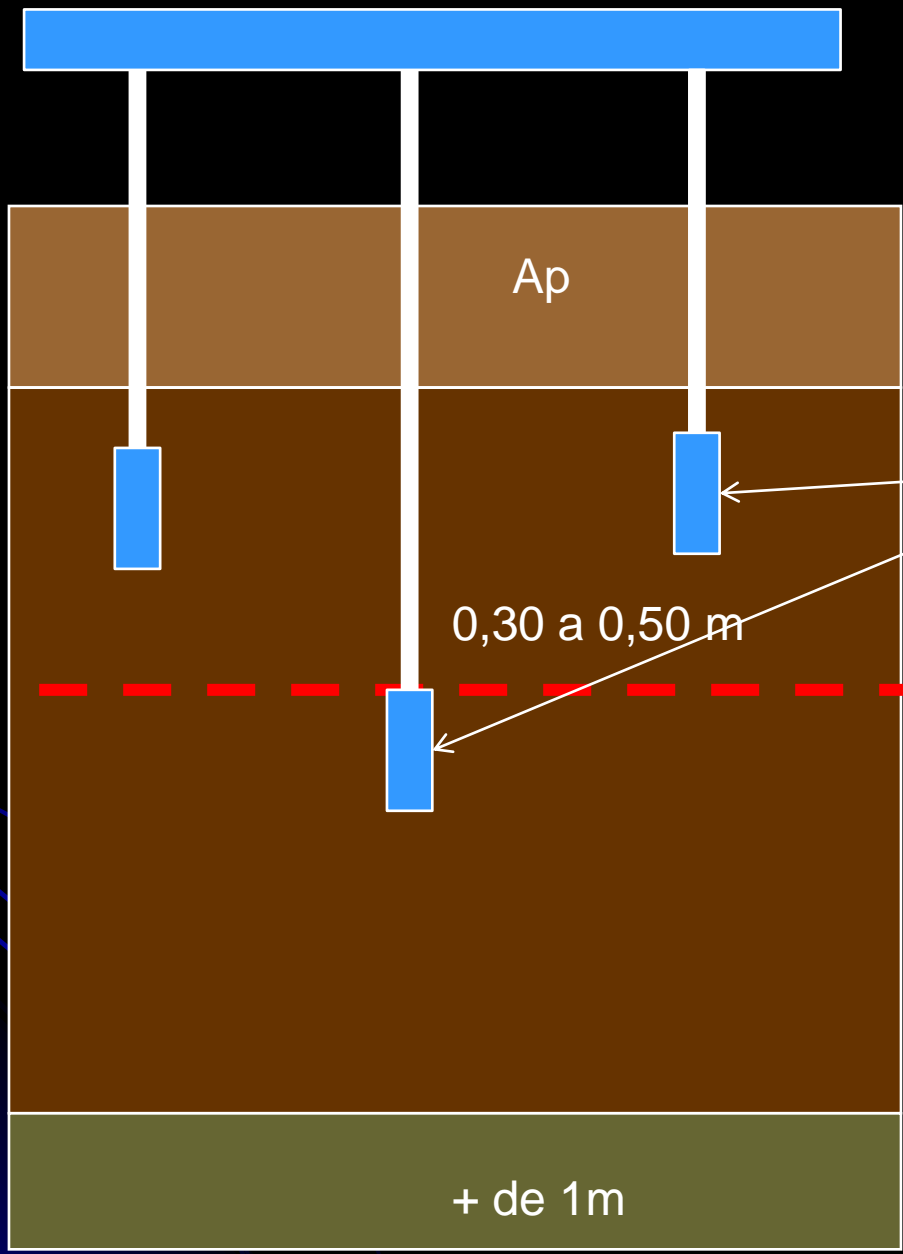
Es necesario descompactar > 4 cm > 2MPa

profunda

+ de 1m

11/04/2016





superficial

Ap



< 4 cm ó < 2MPa

No es necesario descompactar

subsuperficial

0,30 a 0,50 m

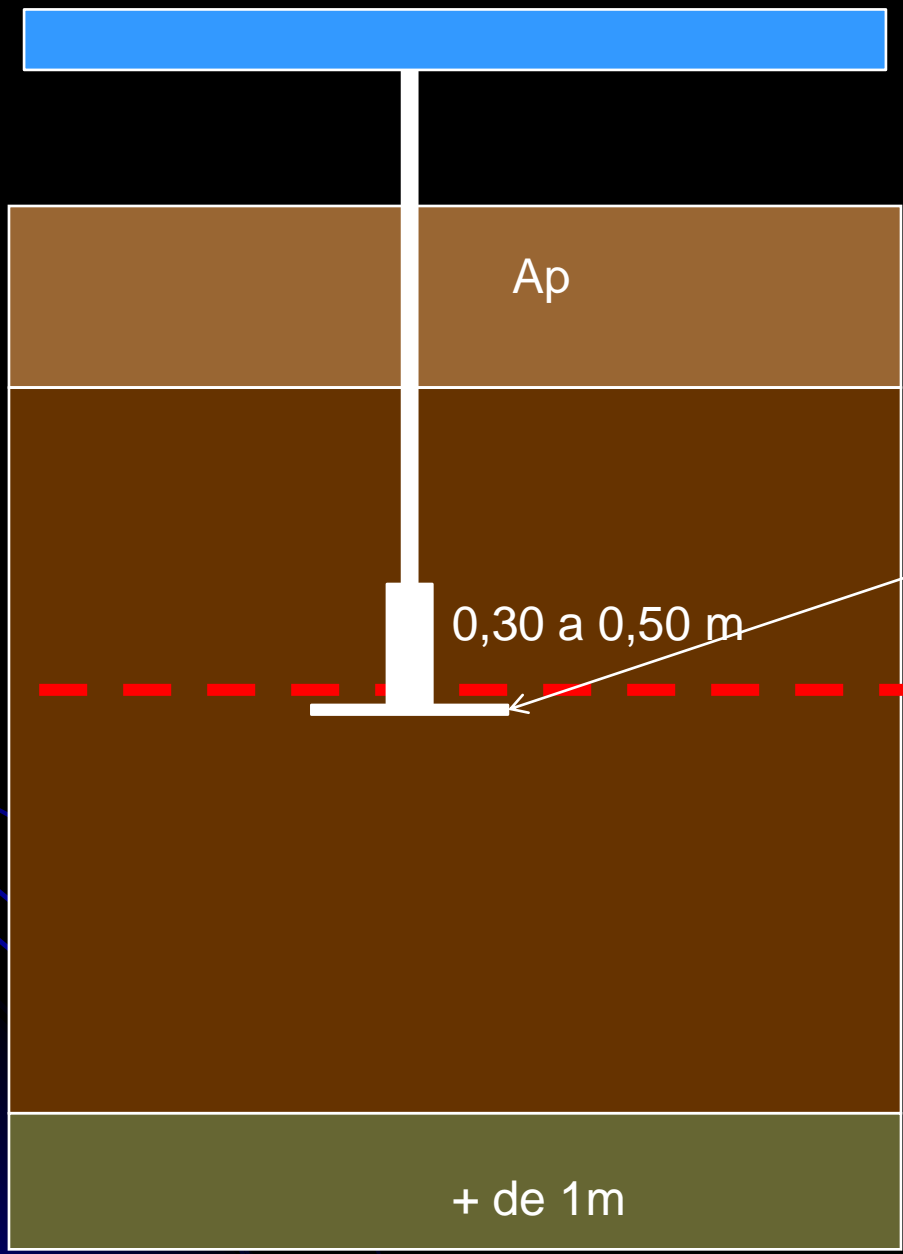
Trabajo en 2 estratos  
Convencionales o aladas

Es necesario descompactar  
> 4 cm > 2MPa

profunda

+ de 1m

11/04/2016



superficial

Ap



< 4 cm ó < 2MPa

No es necesario descompactar

subsuperficial

profunda

11/04/2016

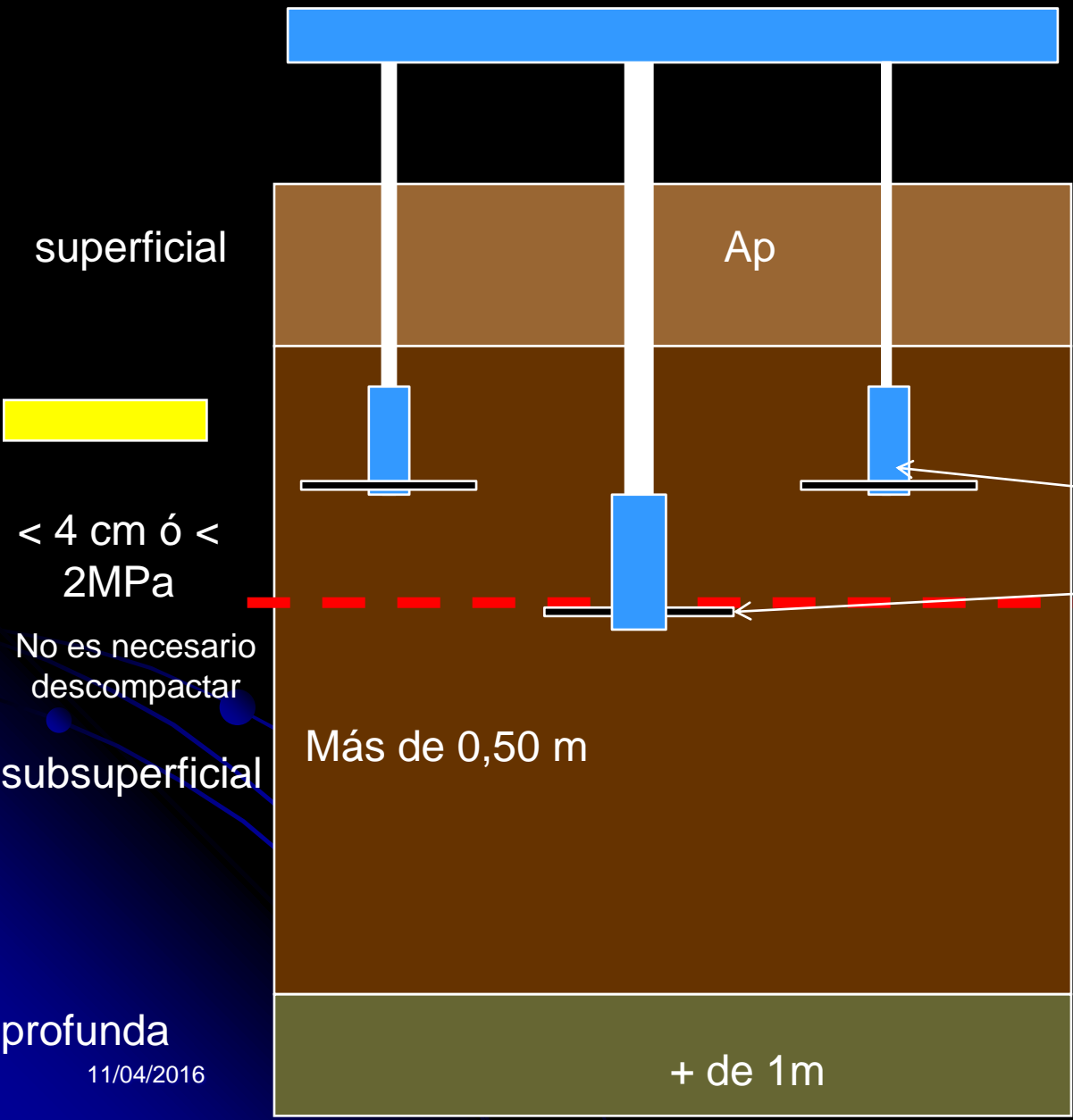
+ de 1m

0,30 a 0,50 m

Subsoladores alados  
Escardillos subsuperficiales

Es necesario descompactar  
> 4 cm > 2MPa





Subsolador alado  
trabajando en 2 estratos

Rejas superficiales y Rejas profundas aladas

Es necesario descompactar  
> 4 cm > 2MPa