



Compactación de suelos

y

Descompactación mecánica

¿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**

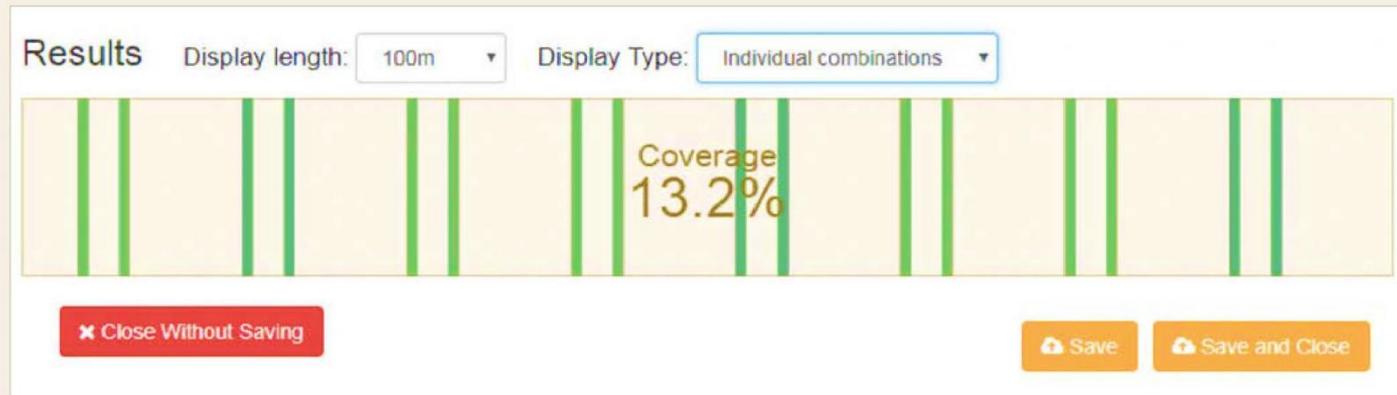
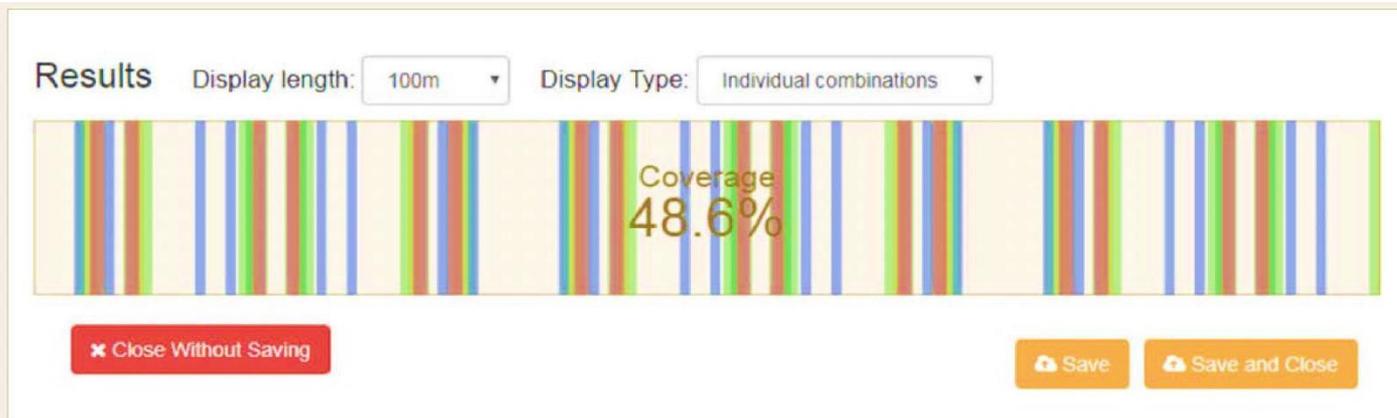
**Manejo del estrés compactante
Mecanización agraria**

Transito

**Labores de
Descompactación**

Transito

Entre el 40 % y el 50 % del área cultivada con granos en SD se pisa en un ciclo de cultivo. (Antille et al., 2019a)



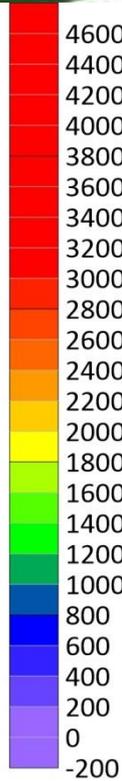
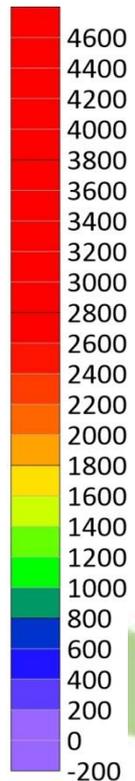
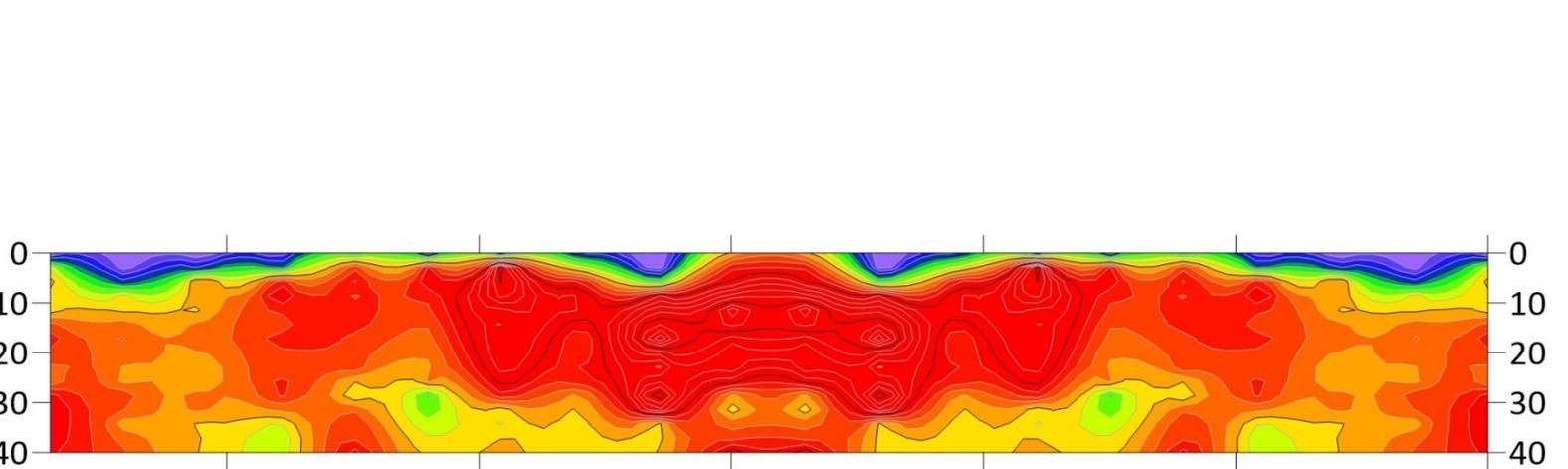
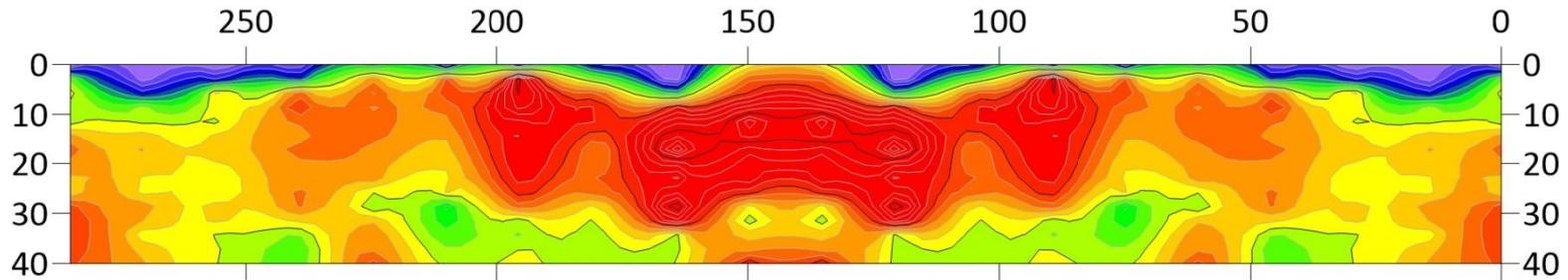
Example of the wheeling percentage of a typical non CTF system (left) with a 55ft seeder, 45ft header and 100ft sprayer compared to a CTF system (right) with a 40ft seeder, 40ft header and 120ft sprayer calculated by the ctfcalculator.org

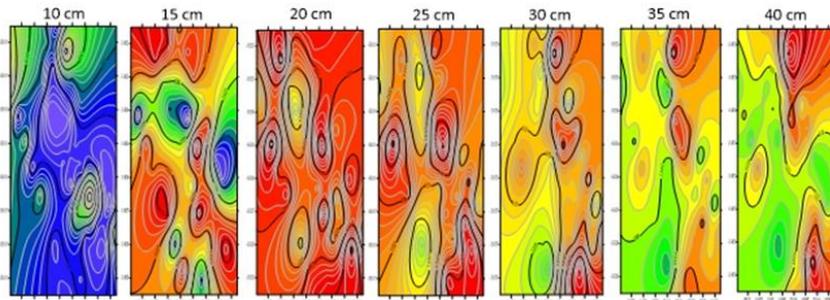
Con patrones de tráfico aleatorios, que pueden cubrir hasta el 85 % del área (Kroulík et al., 2009; Tullberg, 2010)

¿Se compacta el suelo con el paso del tractor?

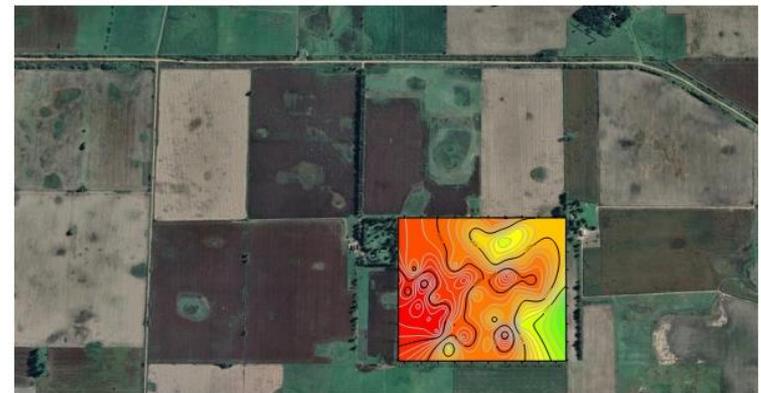
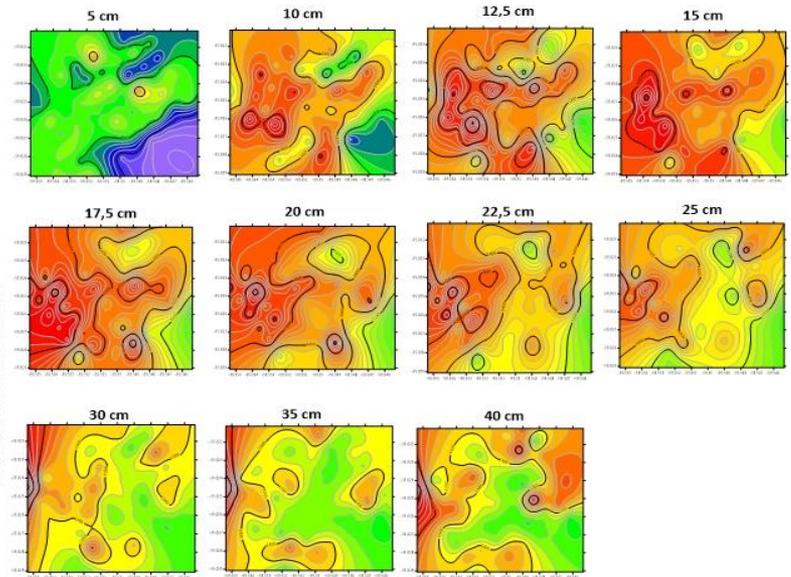








Lote 1



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 g/cm^3

Umbral crítico:

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

Franco; franco-limoso $>1.4 \text{ g/cm}^3$

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

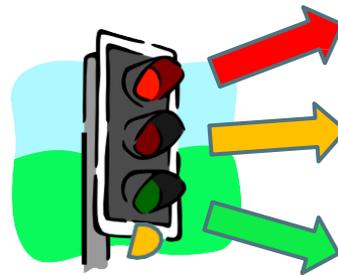
Umbral crítico:

2 MPa – 2,5 MPa

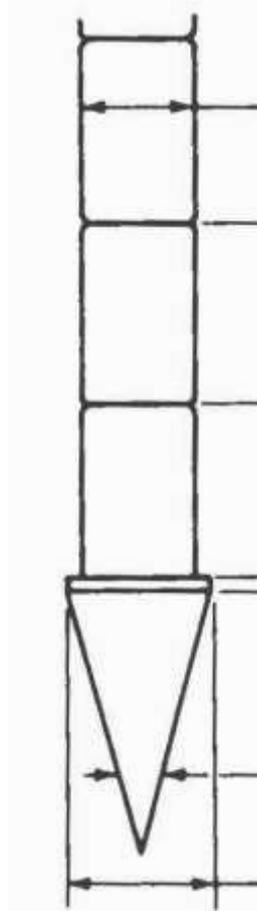
Umbral Preocupante

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



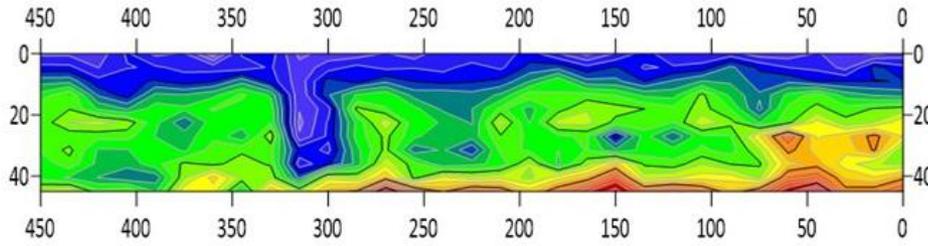


Los procesos de mecanización deben reducir, atemperar, minimizar los efectos que afectan la fertilidad física del suelo



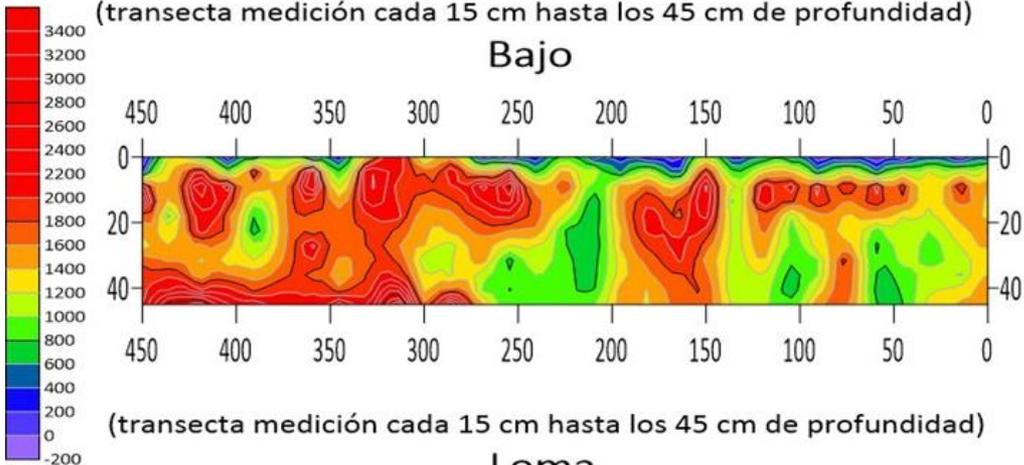
(transecta medición cada 15 cm hasta los 45 cm de profundidad)

Pristino



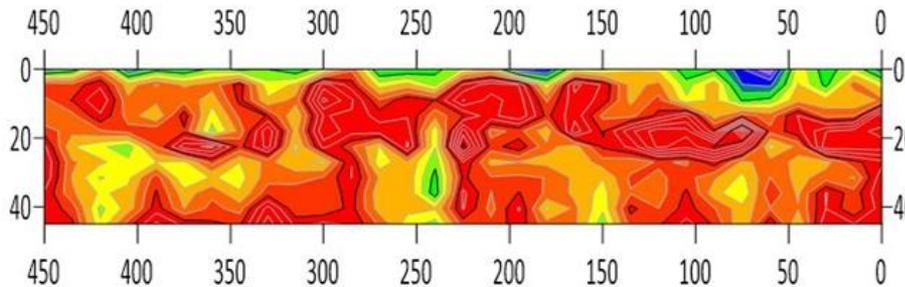
(transecta medición cada 15 cm hasta los 45 cm de profundidad)

Bajo



(transecta medición cada 15 cm hasta los 45 cm de profundidad)

Loma



Valores de resistencia a la penetración (IC, kgPa) hasta los 0,4 m de profundidad y sobre transectas de 5 m de ancho para los sitios: prístino, bajo y loma.

Infiltración

Corrida 1

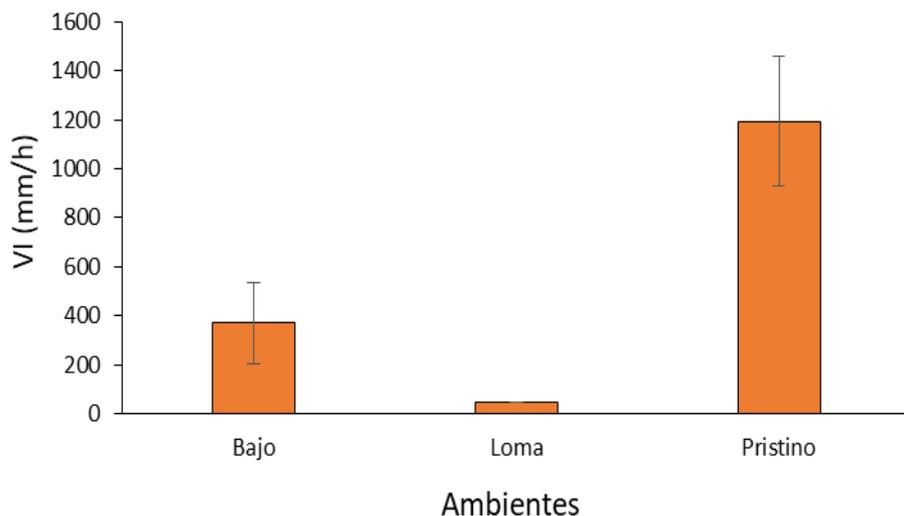
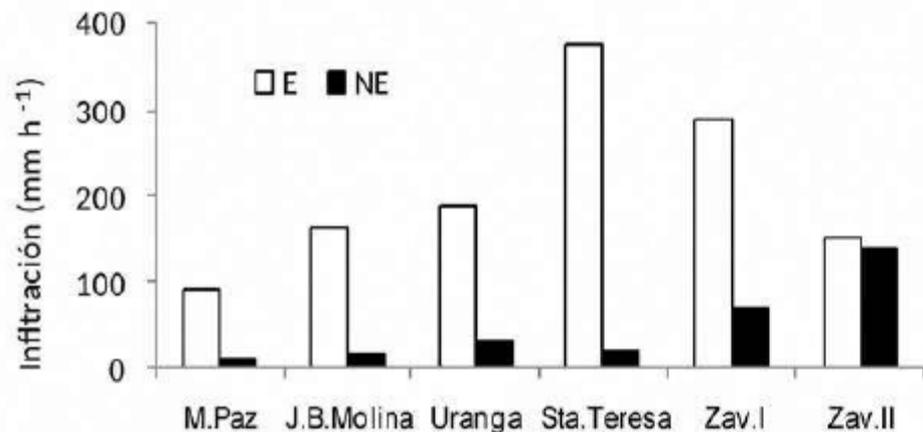
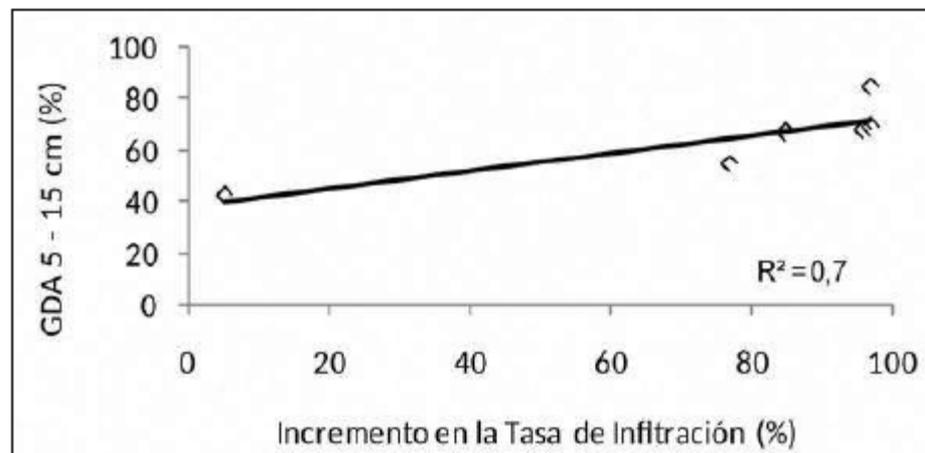


Figura 4: Variación de la infiltración (I) en función del grado de aflojamiento (GDA) Espesor 5 - 15 cm.

Figure 4: Variation of the infiltration (I) as a function of the degree of loosening (GDA) Thickness 5 - 15 cm.

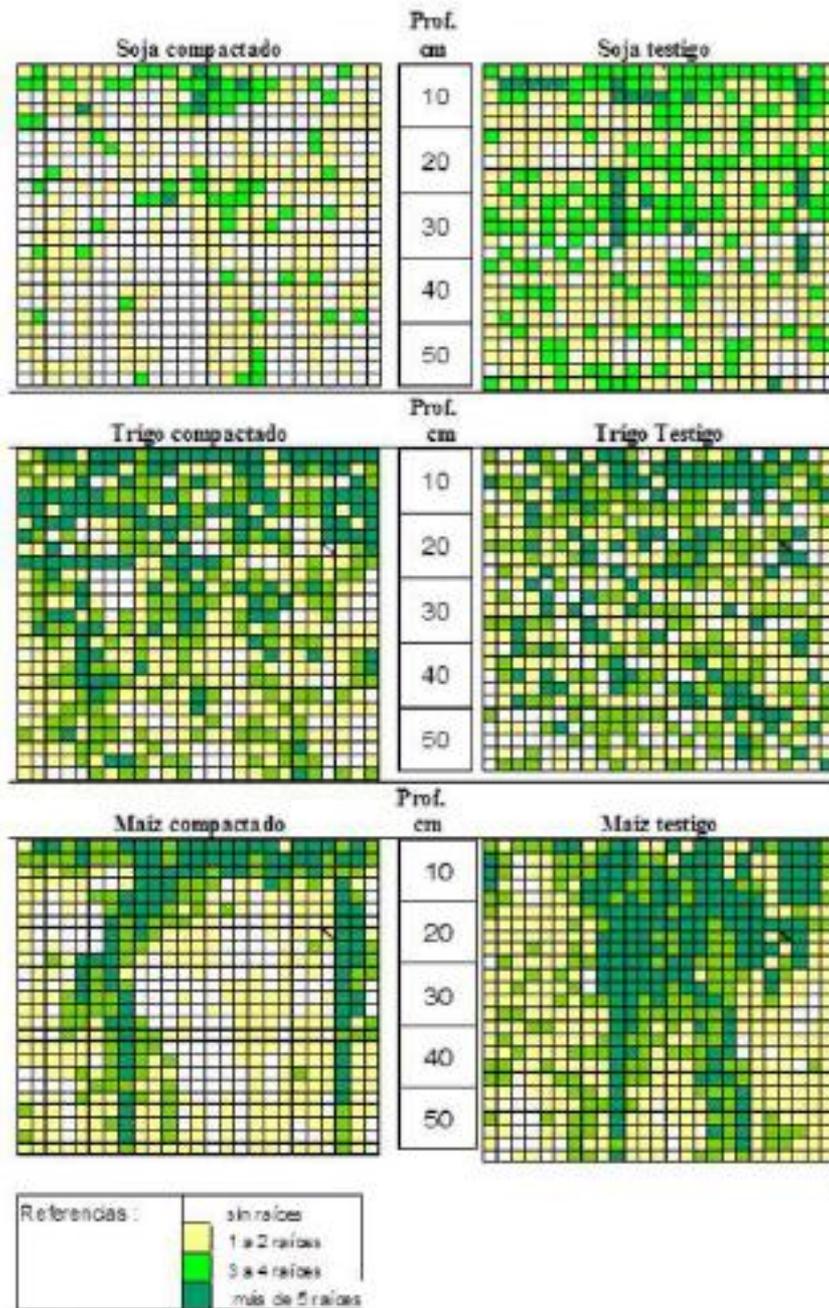


(Bonel & Montico, 2007).

Figura 3: Infiltración de agua en parcelas escarificadas (E) y sin escarificar (NE).

Figure 3: Water infiltration in scarified (E) and non scarified (NE) plots.

Raíces



Gerster & Bacigaluppo (2004)

Figura 4: Distribución de raíces de soja, trigo y maíz hasta los 50 cm de profundidad, en suelos compactado y sin tránsito (testigo).

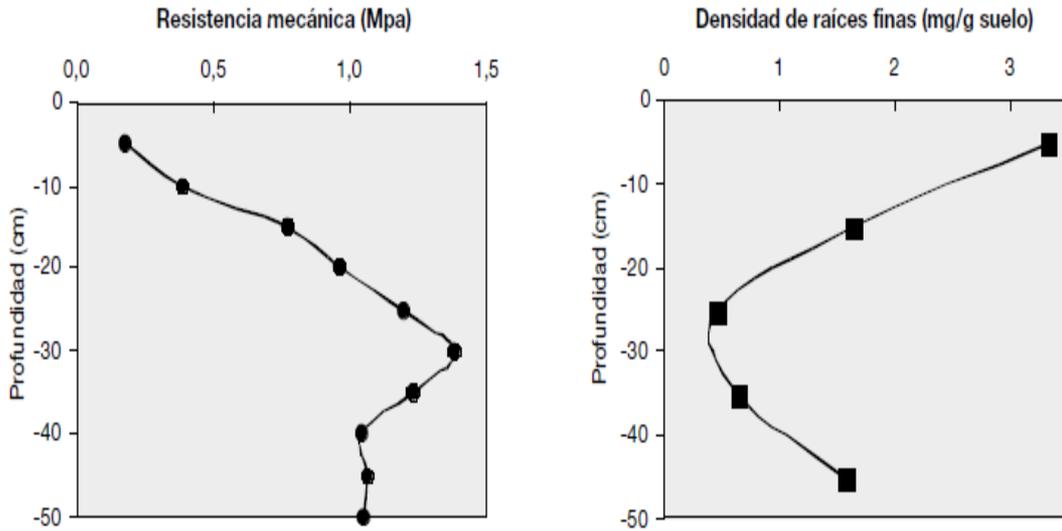


Figura 3. Resistencia mecánica (A) y densidad de raíces finas (B) en el perfil del suelo (0-50 cm) del sitio San Francisco. Humedad: $0,19 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$, sin diferencias significativas entre capas (Test de Tukey, $p < 0,05$). Promedio de 4 árboles.

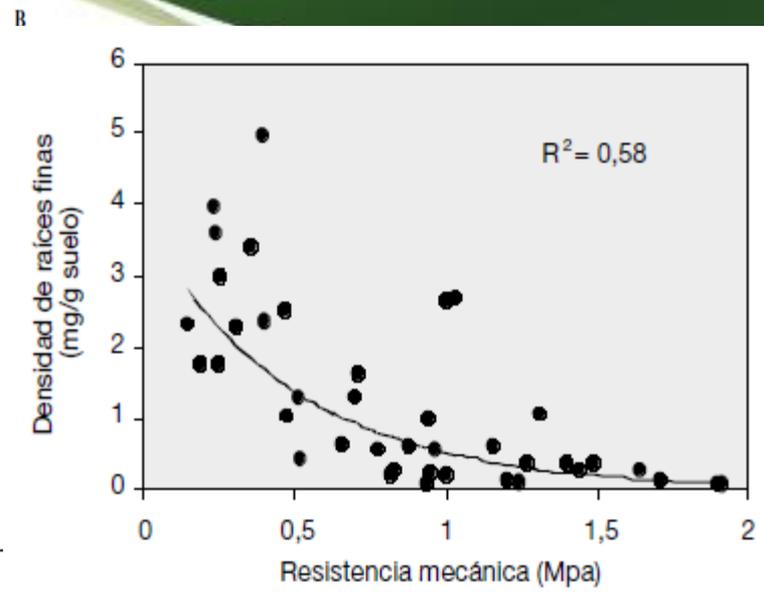


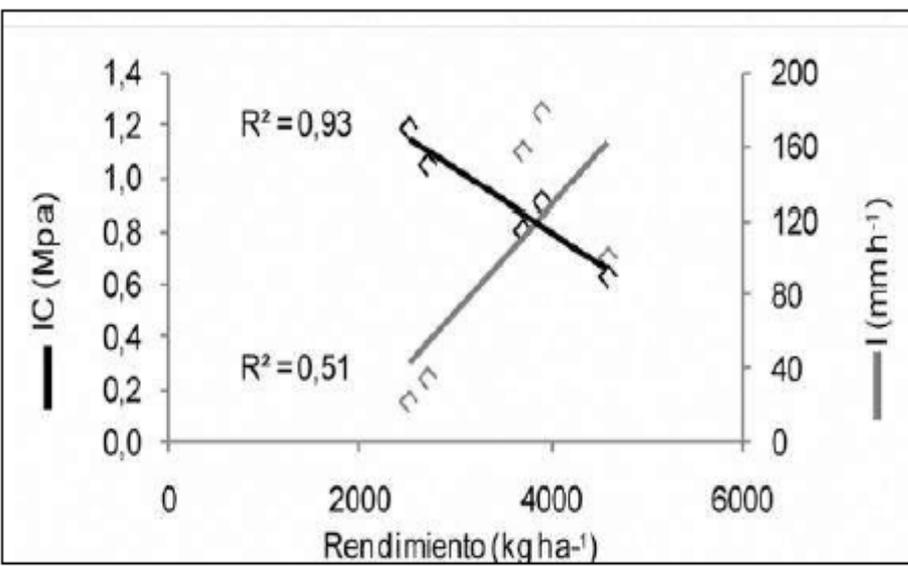
Figura 5. Relación entre la densidad de raíces finas (< 2 mm) de *E. globulus* y la resistencia mecánica del suelo.

Gaitan y Penon 2003

(Bonel & Montico, 2007).

Figura 5: Variación del rendimiento del cultivo de soja en Máximo Paz, J. B. Molina & Uranga. Relación con el Índice de cono (IC) y la infiltración (I). Campaña 2004 -2005.

Figure 5: Variation of soybean crop yield in Máximo Paz, J. B. Molina & Uranga. Relationship with cone index (IC) and infiltration rate (I). 2004 -2005.

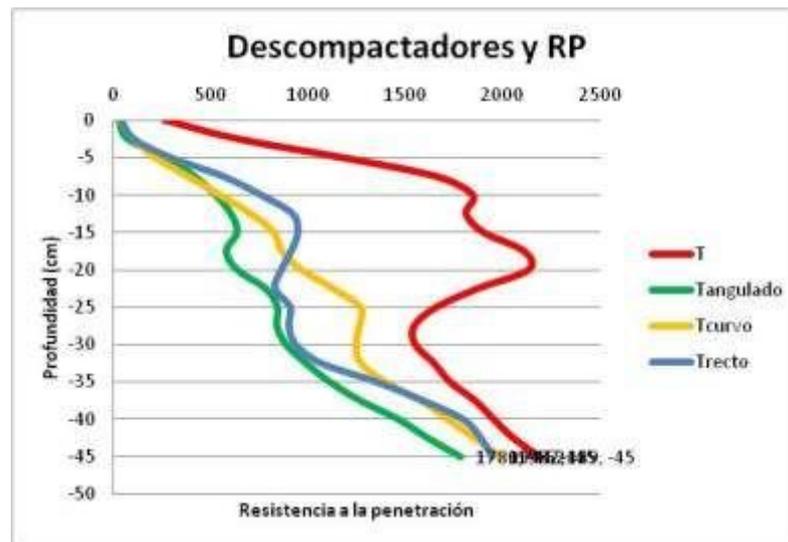
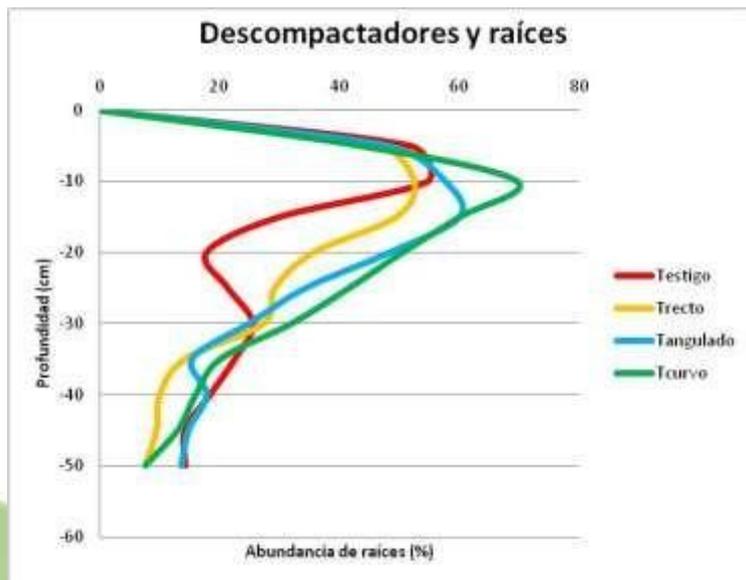
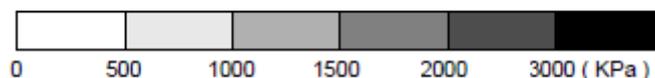
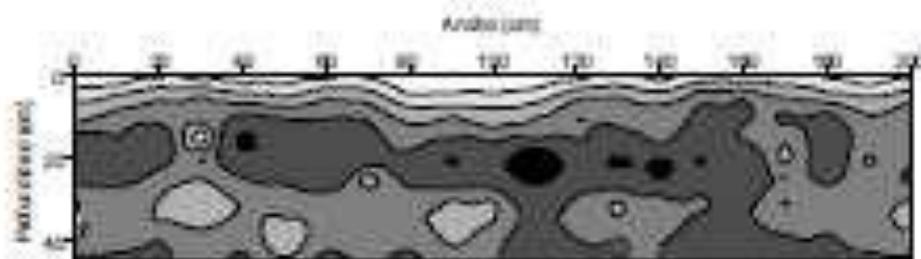


Cuándo y cómo disminuir la compactación

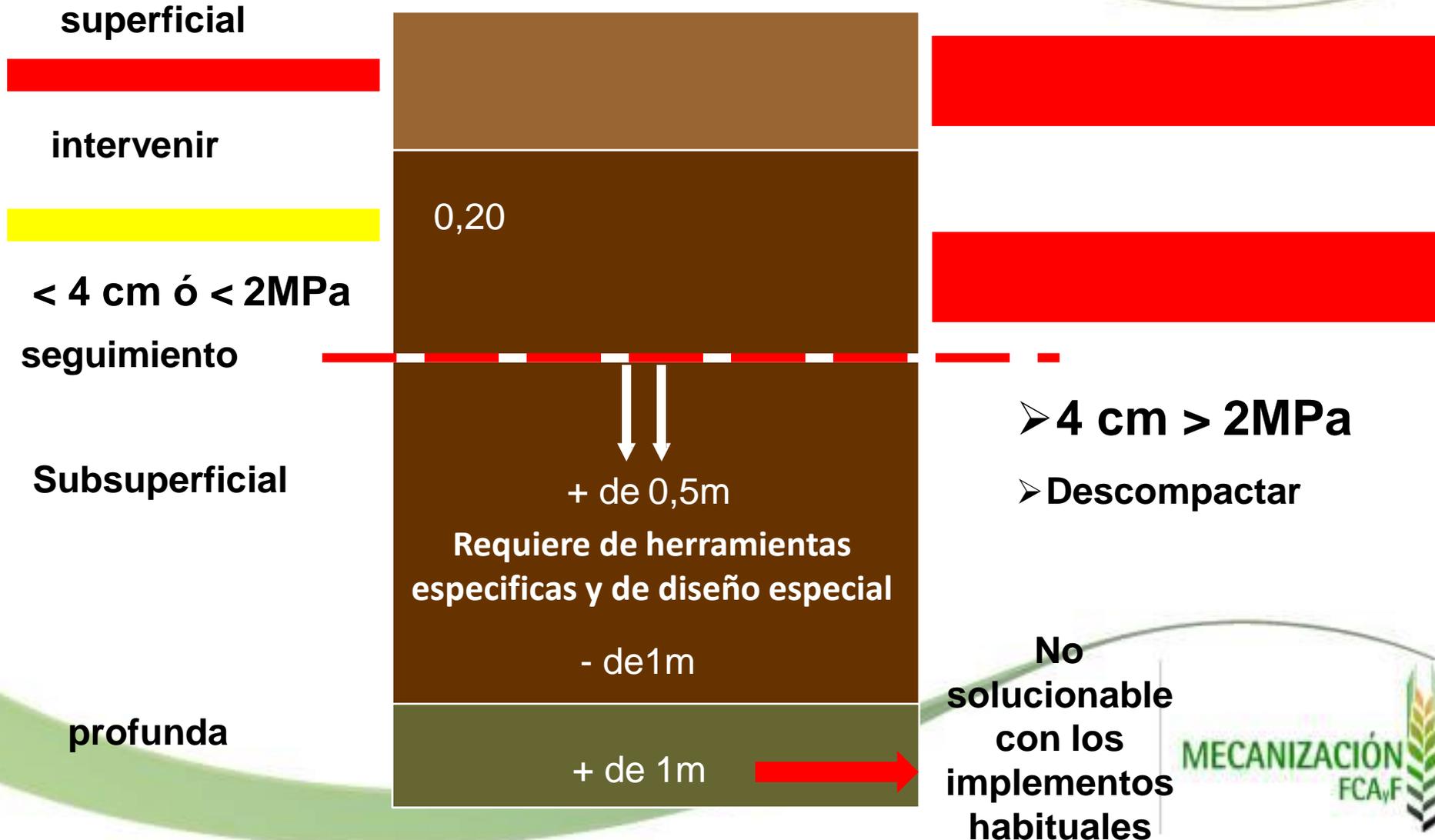
- Sólo cuando se identifican problemas generados por los impedimentos se deben tomar medidas
- La compactación siempre es un problema, cualquiera sea el lugar del perfil donde se encuentra
- Cuando se extiende hasta el subsuelo es mucho más costoso y difícil de reducir o solucionar
- La descompactación mecánica es necesaria cuando la biología no lo hace o lo hace lentamente
- Mejorar el suelo con la mínima disminución de la capacidad de soporte
- Fisurar para mejorar el enraizamiento y el drenaje sin aflojar el suelo



Es necesario descompactar?



Dureza y espesor



Compactación

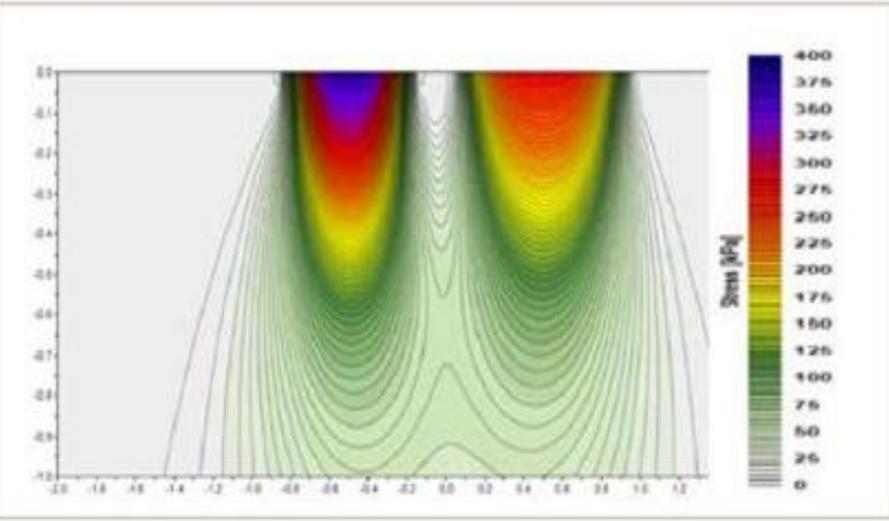
❖ □ **Superficial**

- ❖ **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**

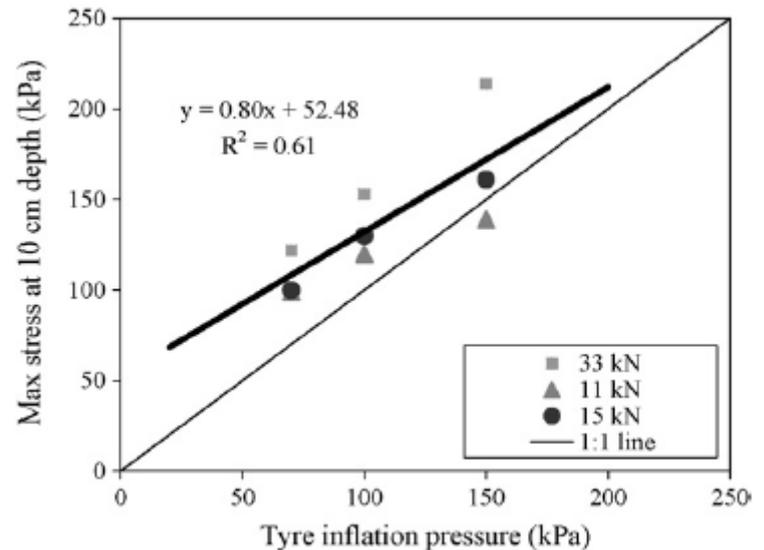




Modelled soil stress (kPa) at Loxton site below tyre (m) under an axle load of 12 t for tyre sizes: 600/65R28 (bottom line, left wheel) and 900/60R32 (top line, right wheel) for dry soil (-100kPa matrix potential).



Fig. 1 - During harvest a track and a tyre identical to the ones used in the study.



Se descompacta bien siempre?

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA





EEA

Pergamino



Principales características de la 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

En la elección del tipo de subsolador se deben tener en cuenta los objetivos de la operación y las características del terreno.

- grado de perturbación de la superficie del suelo que se puede tolerar
- grado deseado de aflojamiento del suelo dentro del perfil
- severidad de la compactación y la profundidad de la zona compactada.



Implementos de descompactación

Superficial

- ❖ Arcos flexibles
 - ❖ cinceles

Profunda

- ❖ Arcos o montantes Rígidos
 - ❖ Montante recto
 - ❖ Escarificadores, Descompactadores, Subsoladores
 - ❖ Montante angulado lateral
 - ❖ Recto
 - ❖ Paratill
 - ❖ Paraplow
 - ❖ Curvo
 - ❖ Cultivie
 - ❖ Ecoltier

Extirpadores

- ❖ Subsuperficiales

Características diferenciales

- ❖ Montante
 - ❖ Flexible
 - ❖ Rígido
 - ❖ Recto
 - ❖ Angulado later
- ❖ 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



Implementos de descompactación profunda

- Escarificadores**
 - Subsoladores**
 - Descompactadores alados**
 - Paraplow**
 - Paratill**
 - Cultivie**
 - Ecoltier**
 - Escardillos subsuperficiales**
- Estrechos
- Estrechos con rejas aladas
- Montantes Angulados
Laterales rectos o curvos
- Rejas anchas de escardillo

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
- ❖ 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
- ❖ Diseño del bastidor
 - ❖ Distancia entre montantes
 - ❖ Posibilidades de desplazamiento

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

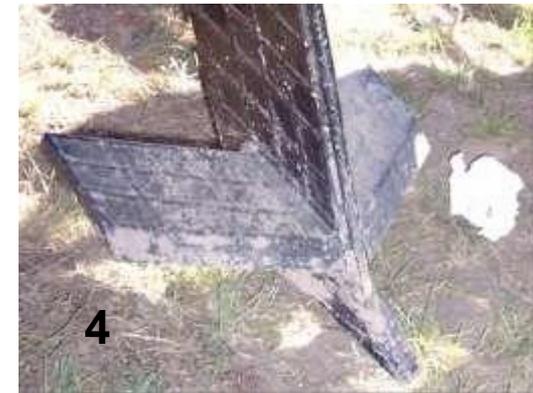
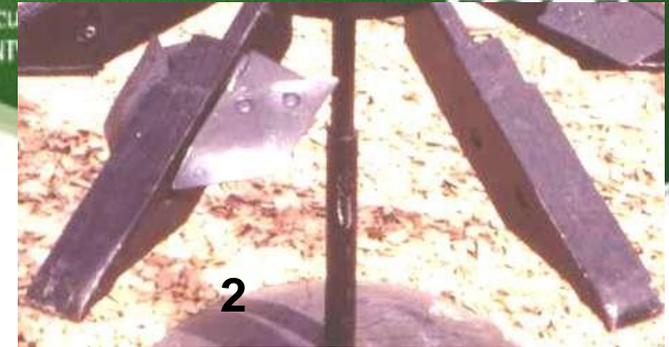




Figura 6. Altura de elevación del ala y ángulo de inclinación.



Narrow point (a).



Point with wings (b).



Montantes

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





Straight leg (a).



Curved leg (b).



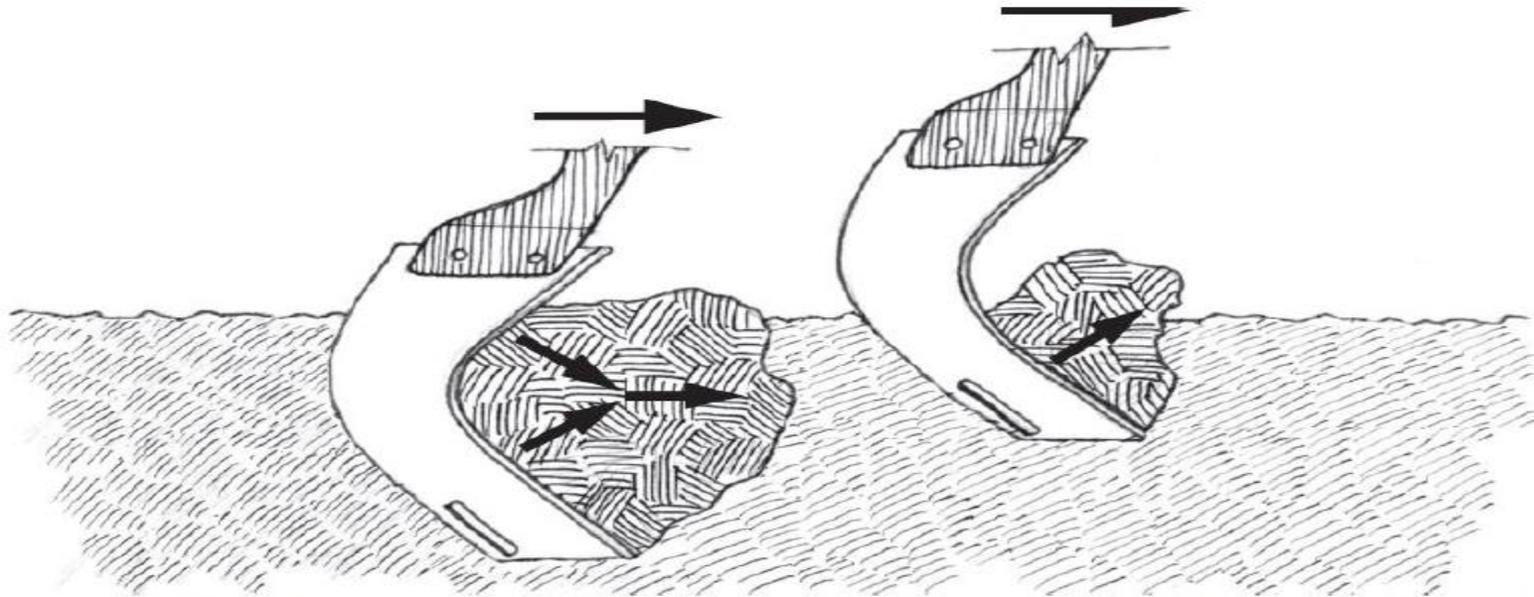
Leg with the upper part leaning forward (c).



Slanted leg (d).

Figure 3. Straight and curved legs

La parte inferior de las patas curvas (Figura 3b) tiene un ángulo de inclinación inferior a 90° , lo que obliga al suelo a mover el suelo hacia arriba. La parte superior de estas patas puede estar vertical o inclinada hacia adelante (ángulo de inclinación superior a 90°). Los dientes con la parte superior de la pierna inclinada hacia adelante (Figura 3c) están diseñados para trabajar solo hasta una profundidad determinada. Si trabajan por debajo de esa profundidad (Figura 4) la parte superior de la pata empuja el suelo hacia abajo, lo que aumenta el requerimiento de potencia y tiende a compactar el suelo localmente (Bauer y Bergtold, 2006)



Subsoiling too deeply, increasing forces and causing some local compaction.

Subsoiling at adequate depth.



(a)



(b)

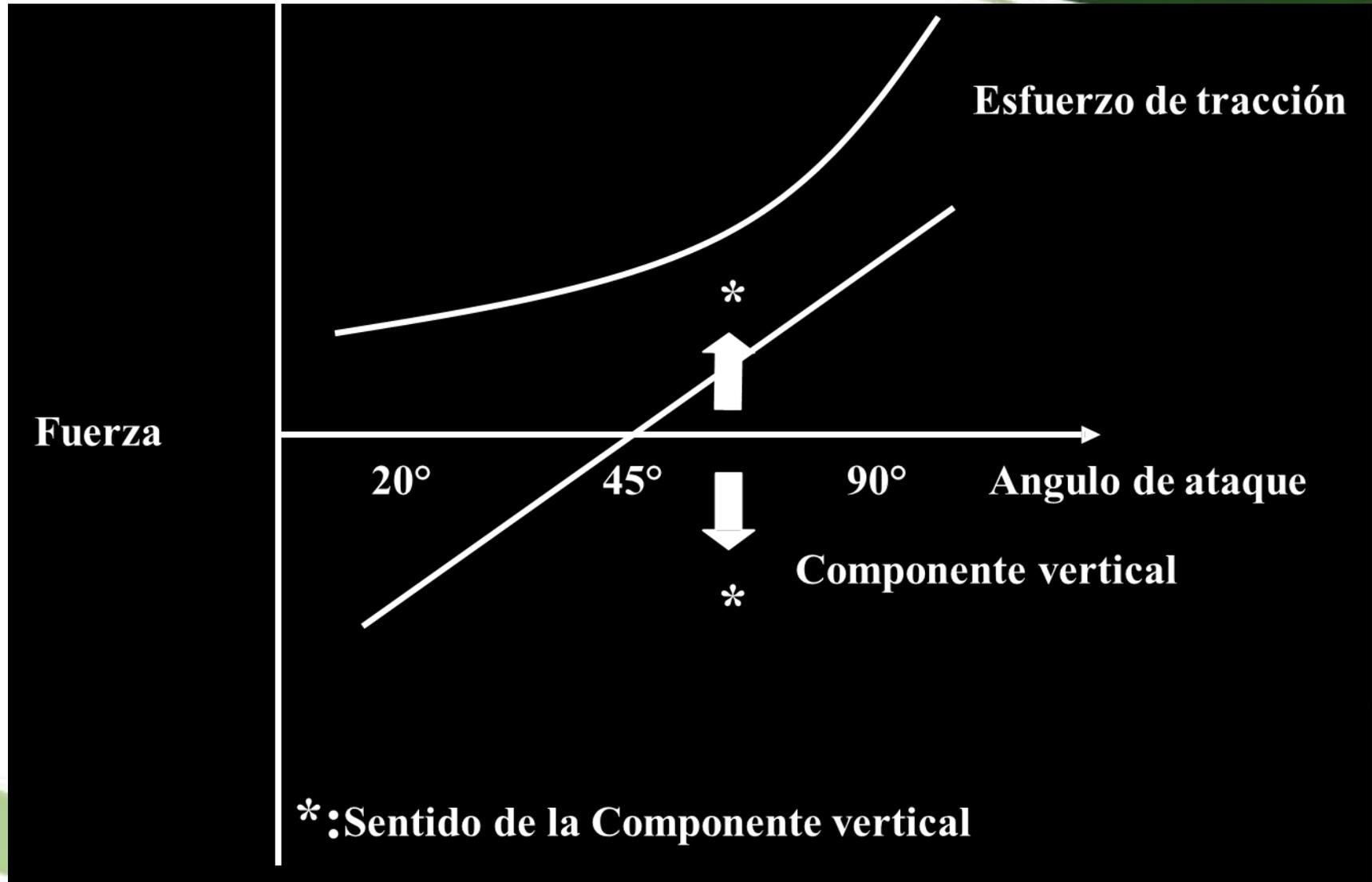


(c)

Longitud de la punta y ángulo de inclinación. El ángulo de inclinación de la punta es el ángulo entre la cara superior de la punta y la horizontal (Figura 6). Cuanto más pequeña es, más fácil puede penetrar la punta en el suelo y menor su resistencia al tiro. El ángulo de inclinación se puede reducir aumentando la longitud de la punta mientras se mantiene una altura de elevación constante. Cuando el ángulo de inclinación es demasiado grande (que generalmente no es el caso de los subsoladores fabricados comercialmente), el suelo se empuja hacia adelante en lugar de levantarlo hacia arriba, lo que compacta el suelo por delante en lugar de aflojarlo y aumenta la resistencia a la tracción (Figura 7) .

Figura 7. Subsolador con punta y alas demasiado verticales (a y b). El suelo se empuja por delante del diente y se compacta (c) en lugar de levantarlo.

EFECTO DEL ANGULO DE ATAQUE DEL ÓRGANO ACTIVO



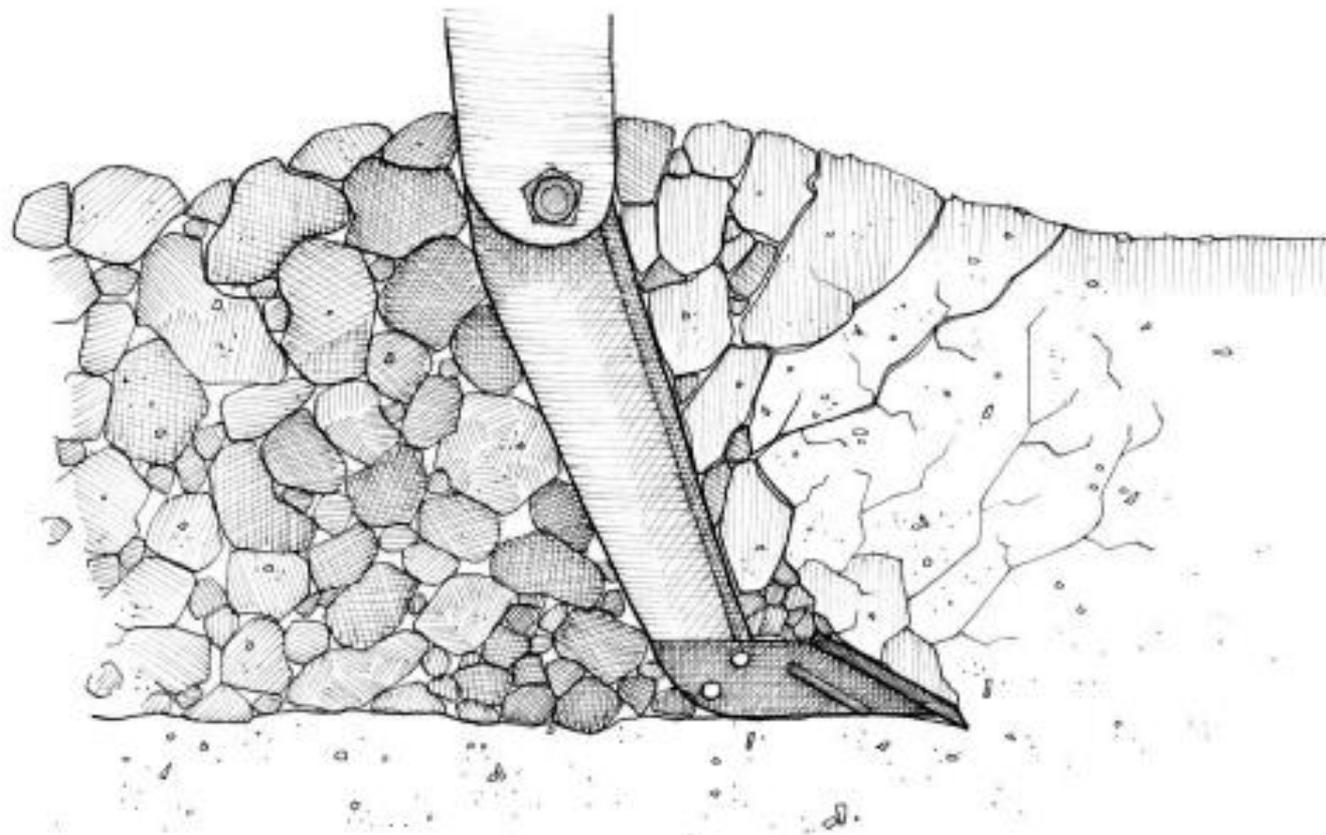
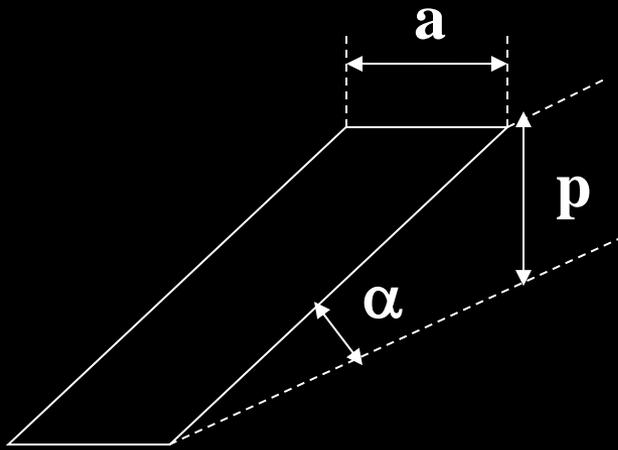


Figure 8. Loosening of the soil achieved through brittle disturbance ©.



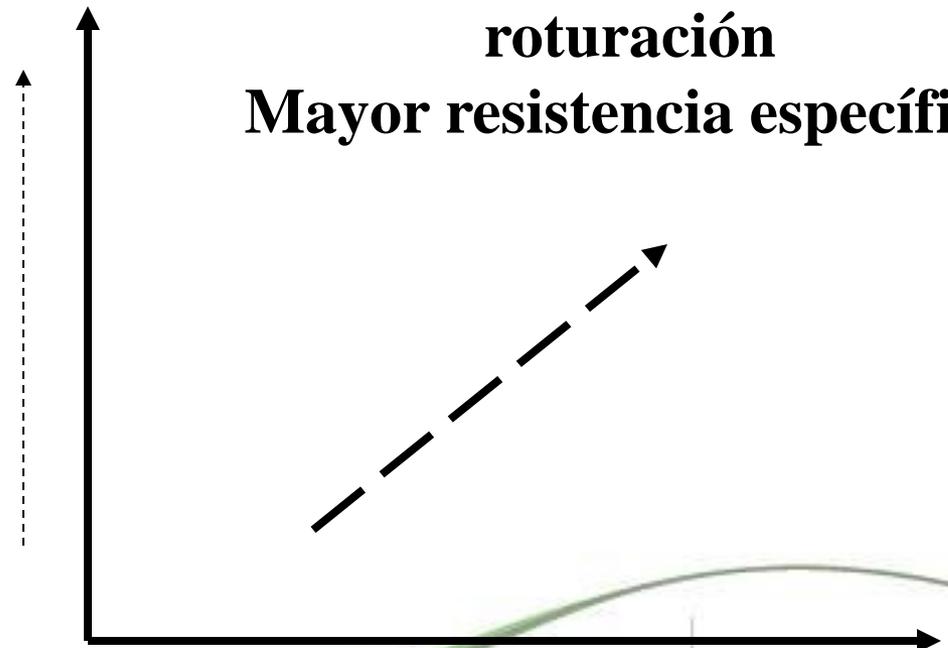
Mc Kyes (1985)



α

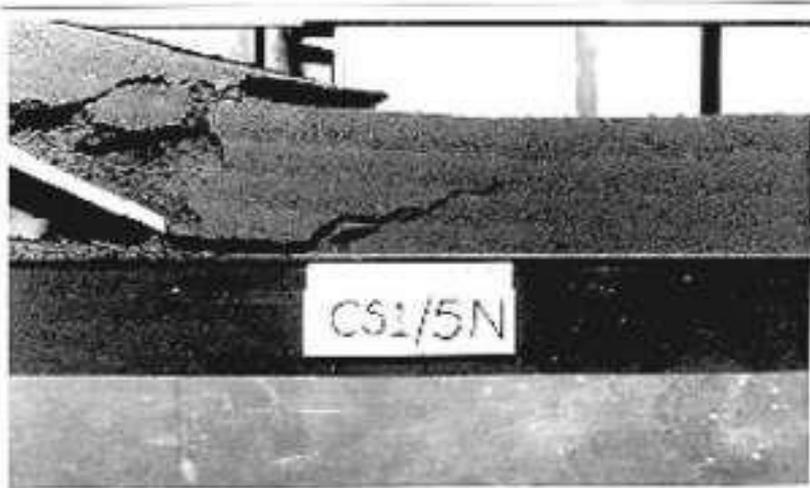
Menor resistencia específica
Mayor eficiencia energética

**Incremento de la
roturación**
Mayor resistencia específica



p/a





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)

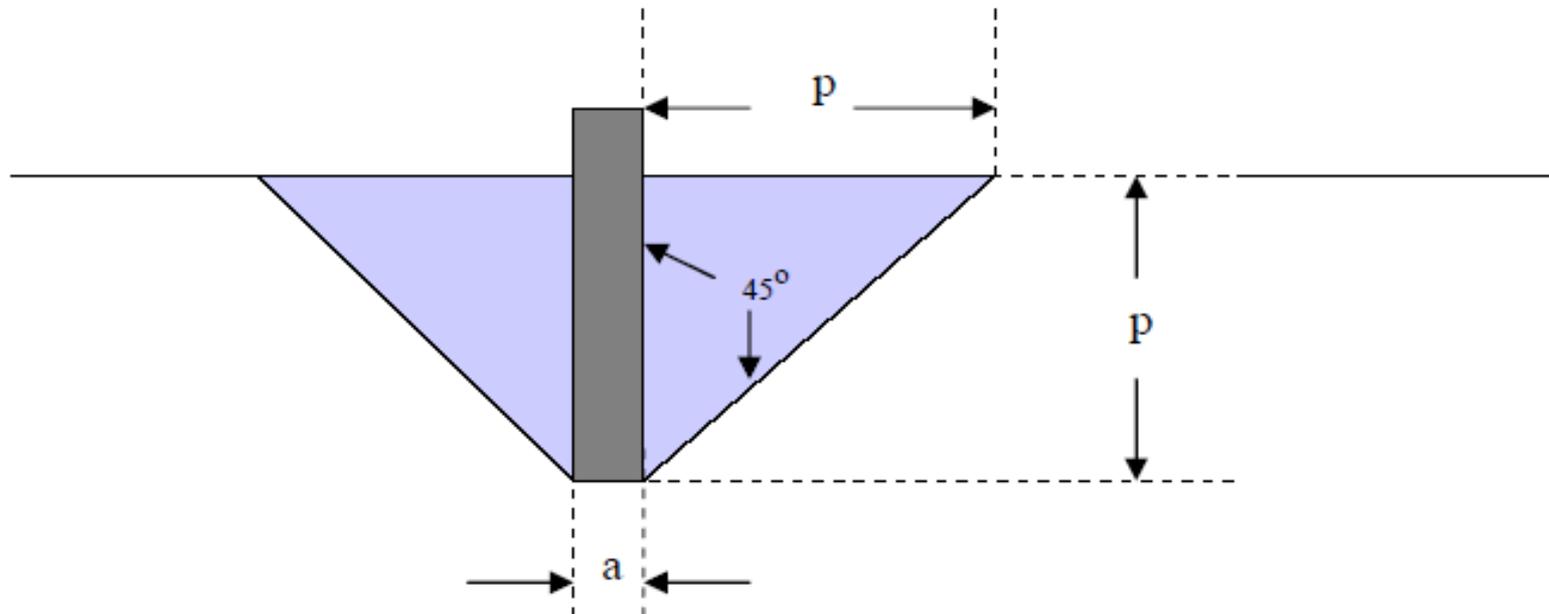
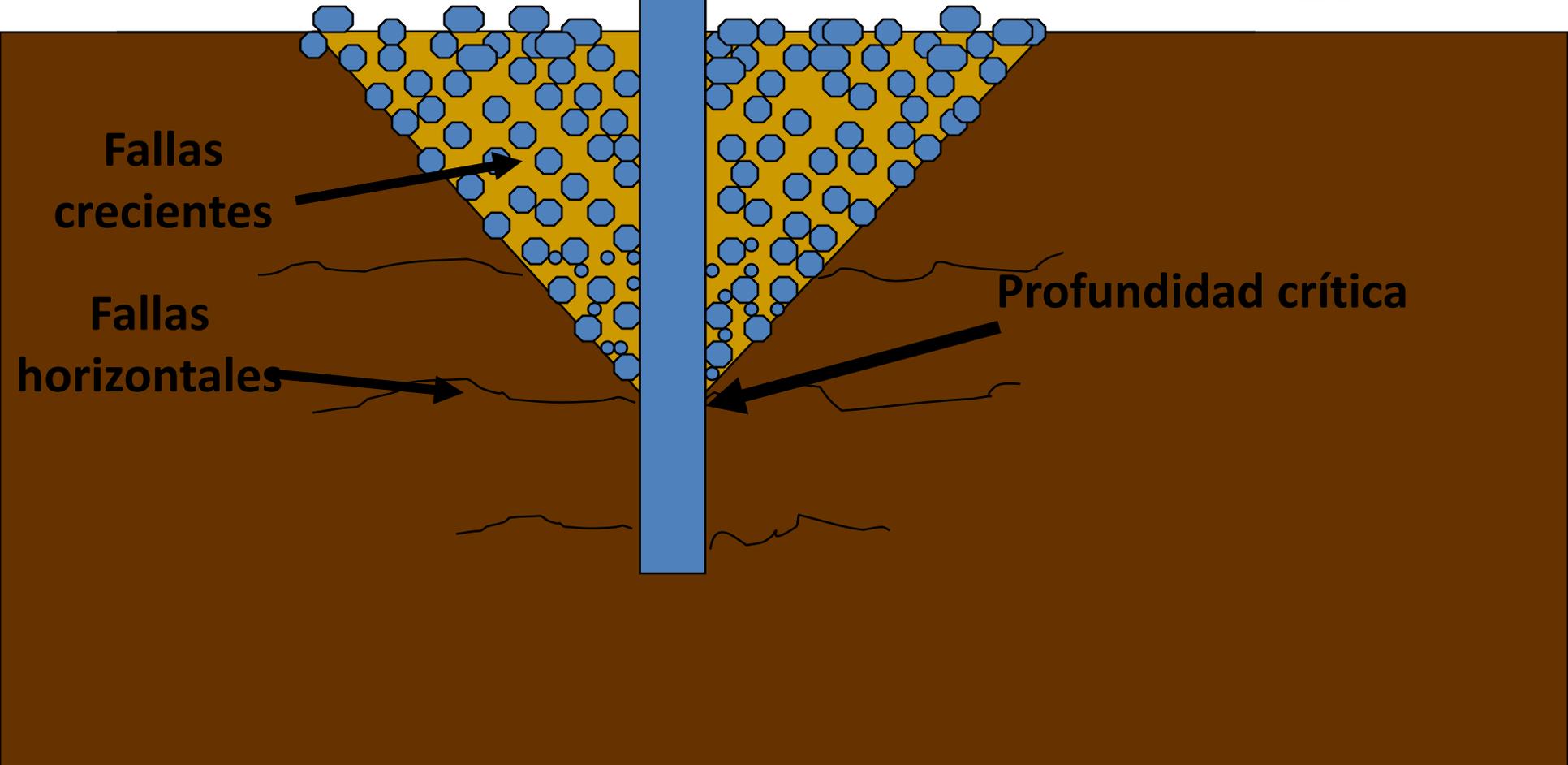


Figura 9. Esquema de roturación de una reja trabajando sin interacción según Willat y Willis (1965)

$$A = a.p + 2 (b.h)/2$$

$$A = a.p + 2 (p.p)/2$$

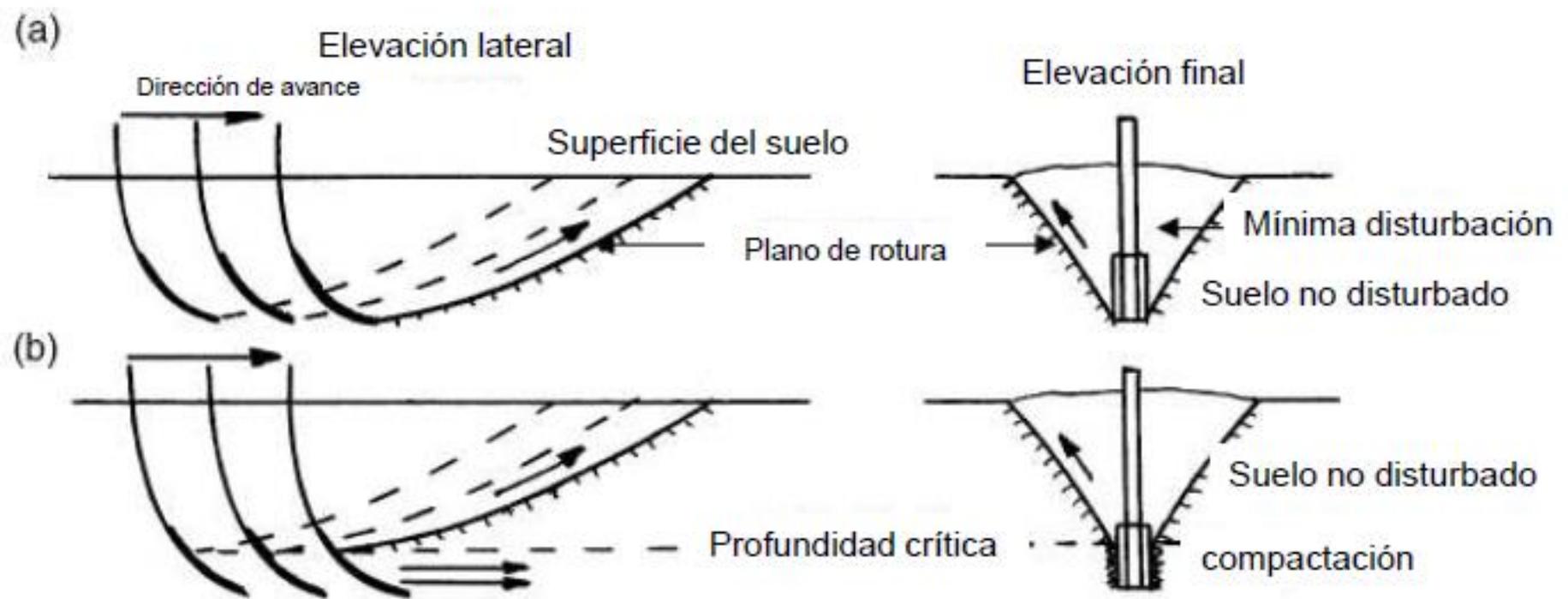
$$A = a.p + p^2$$



Fallas
crecientes

Fallas
horizontales

Profundidad crítica



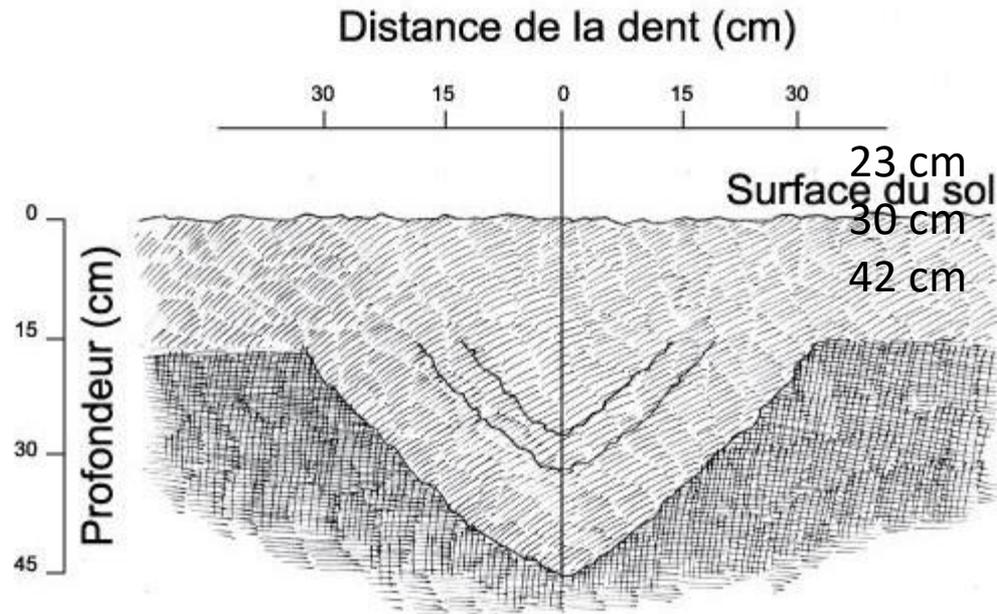
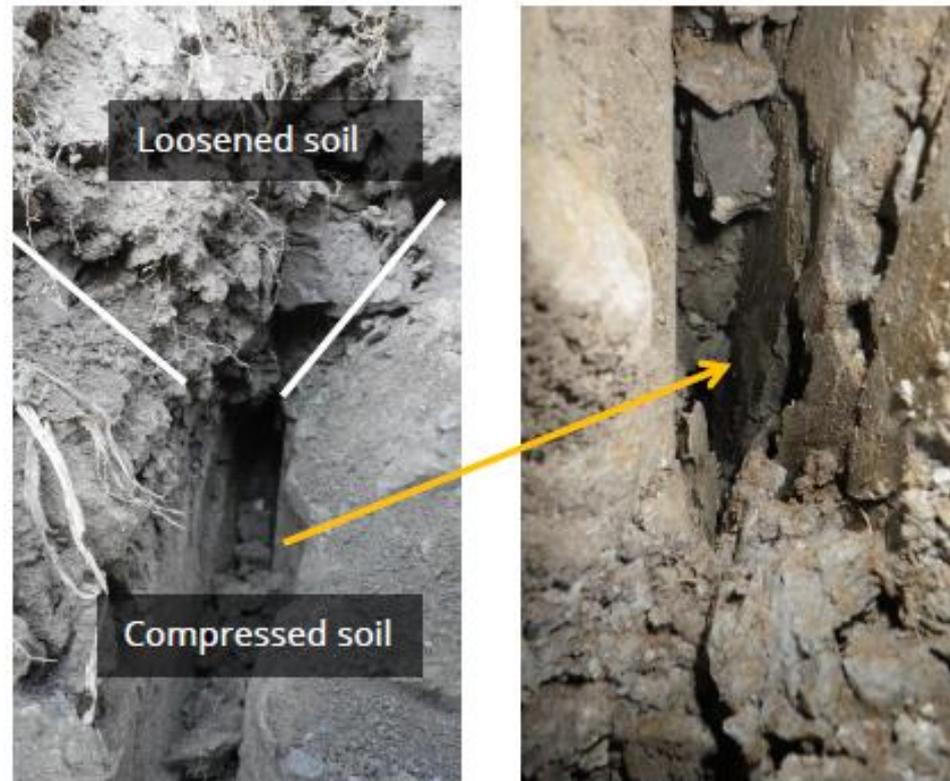


Figure 19. Influence of working depth on the volume of loosened soil for three working depth (23, 30 and 43 cm; 9, 12, 18''); (CETAB+, unpublished)

Profundidad de trabajo para un diente individual, siempre que no se alcance la profundidad crítica, cuanto mayor sea la profundidad de trabajo, mayor será el volumen de suelo que se suelta



Soil loosened above 35 cm (14") depth and compressed below that depth (a).

Compressed area (b).

Figure 10. Effect of subsoiling at a depth of 40 cm (17") in a very compact soil, moderately humid at depth.



Figure 12. Brittle loosening above the critical depth and compression below it for a very compacted and moderately humid clay soil. The soil was fractured between 0 and 35 cm (14") depth and further compacted below that depth.



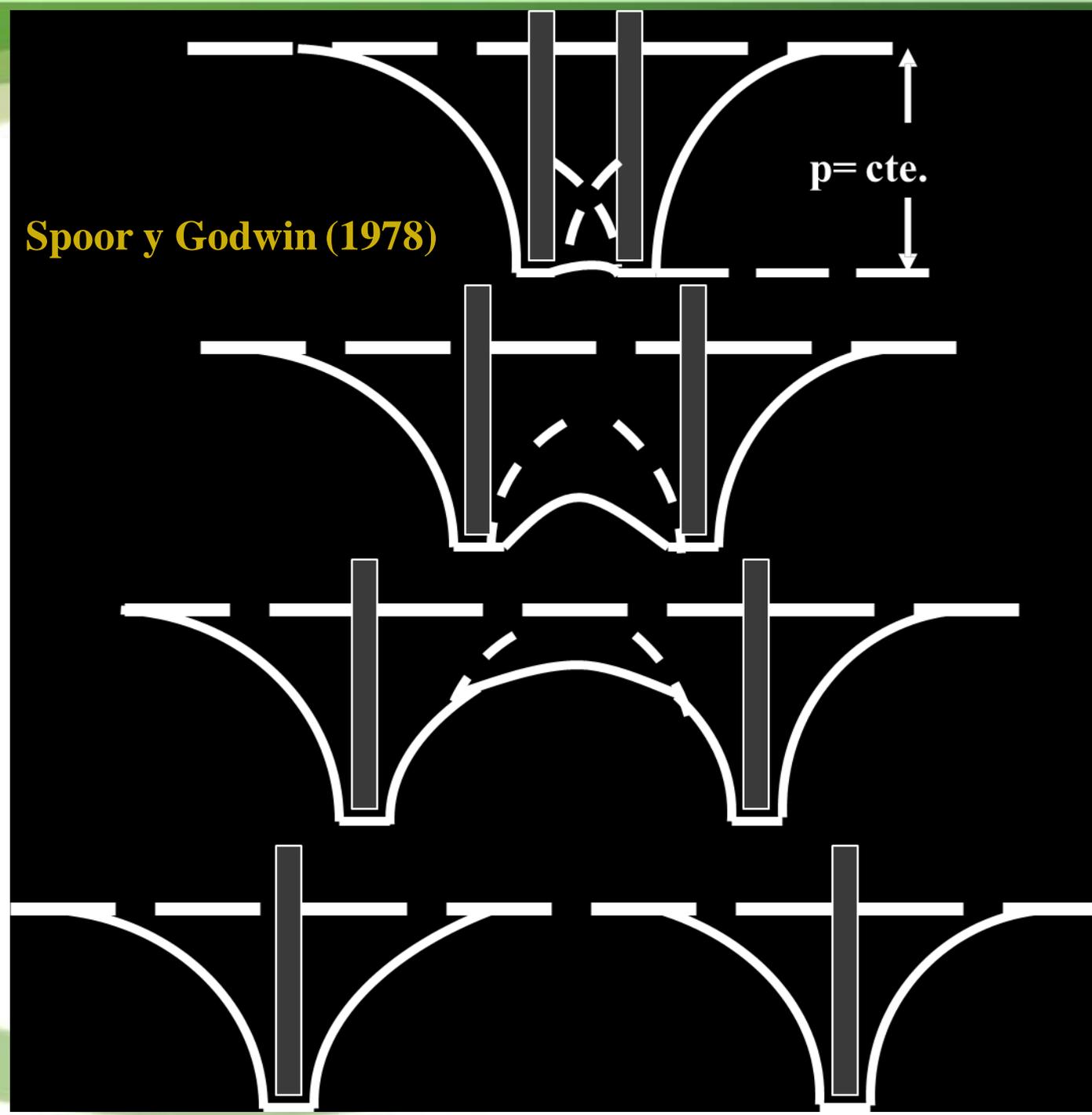
EEA

Pergamino

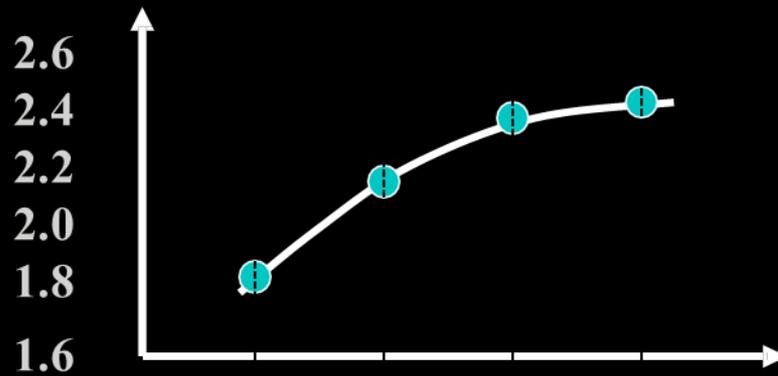




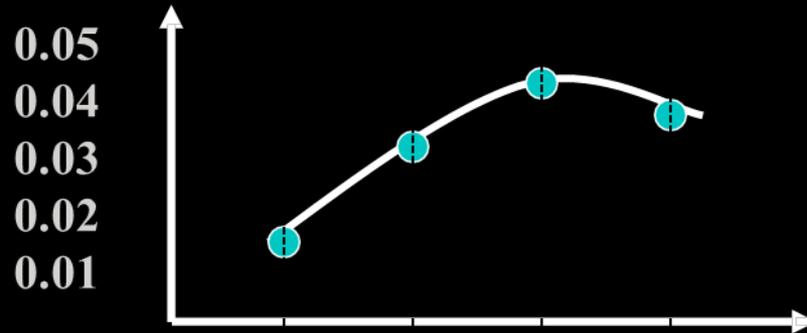
Spoor y Godwin (1978)



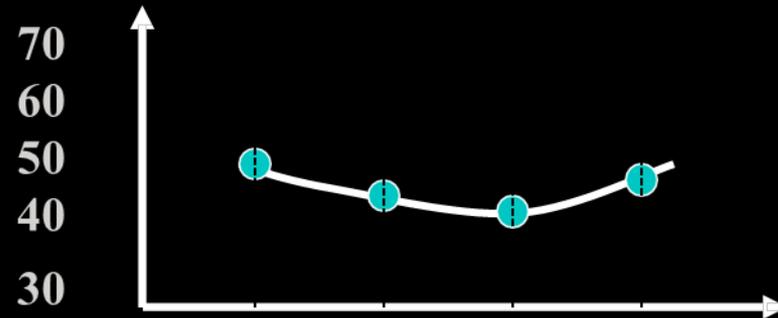
Esfuerzo de tracción
[kN]



Area removida
[m²]



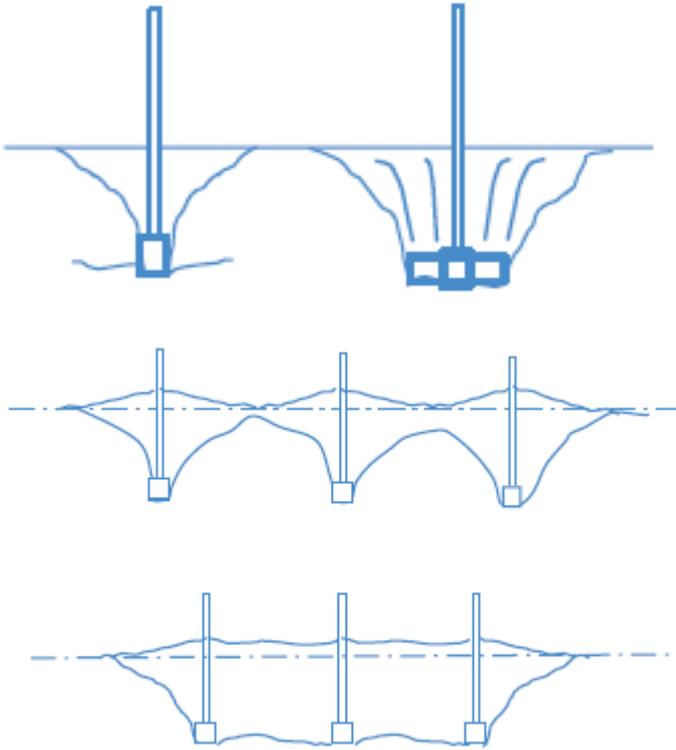
Resistencia específica
[kN/ m²]



Distanciamiento [mm]

$d \cong 1.5 p$

Problemas y alternativas



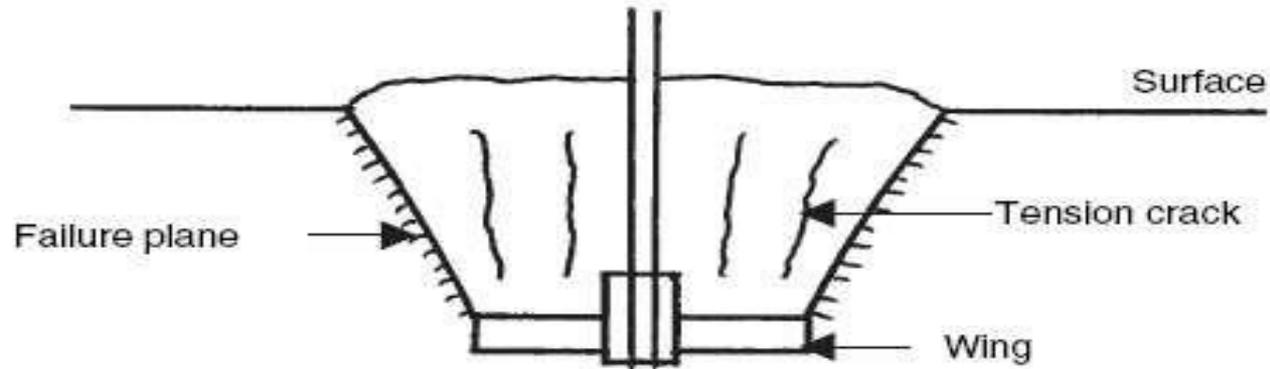
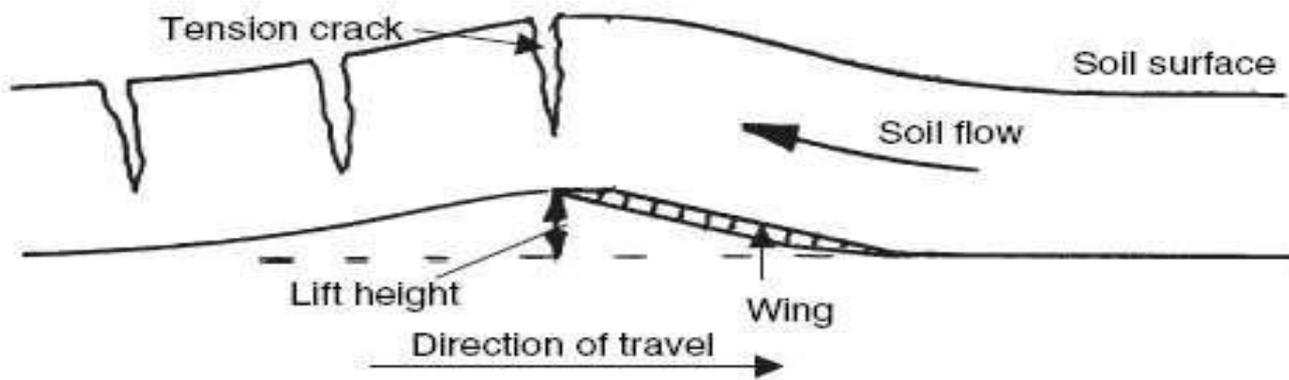


Figure 3 Soil disturbance with winged tine working above critical depth.

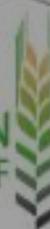




Agrarias y Forestales
ONAL DE LA PLATA



MECANIZACIÓN
FCAyF













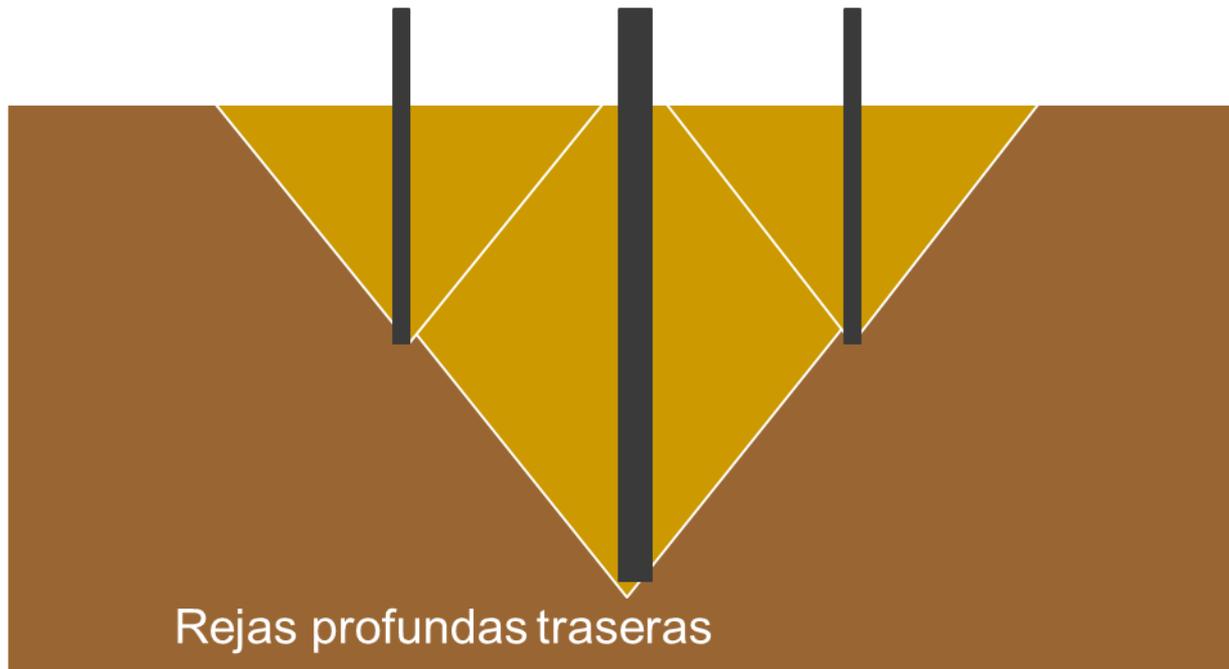




Adición de púas delanteras poco profundas

- La adición de púas delanteras de trabajo menos profundas delante de las púas más profundas del subsolador permite aumentar la superficie del suelo suelto sin aumentar la potencia necesaria.
- Esto se debe a que la perturbación del suelo de las rejas poco profundas reduce significativamente la resistencia de confinamiento en las rejas más profundas, lo que permite que el espacio entre las rejas más profundas aumente en aproximadamente un 25 %.
- La profundidad óptima para las rejas principales está en alrededor del 60% de la profundidad de trabajo de las rejas más profundas (Spoor y Godwin, 1978).
- En términos de espacio lateral, las rejas principales deben colocarse entre las rejas menos profundas y trabajar en un área de suelo que las rejas menos profundas no aflojarían si trabajaran solas.
- La adición de púas delanteras de trabajo menos profundas también aumenta la profundidad crítica de las púas más profundas, lo que permite, cuando sea necesario, aumentar la profundidad efectiva del subsuelo.

Trabajo en 2 estratos





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

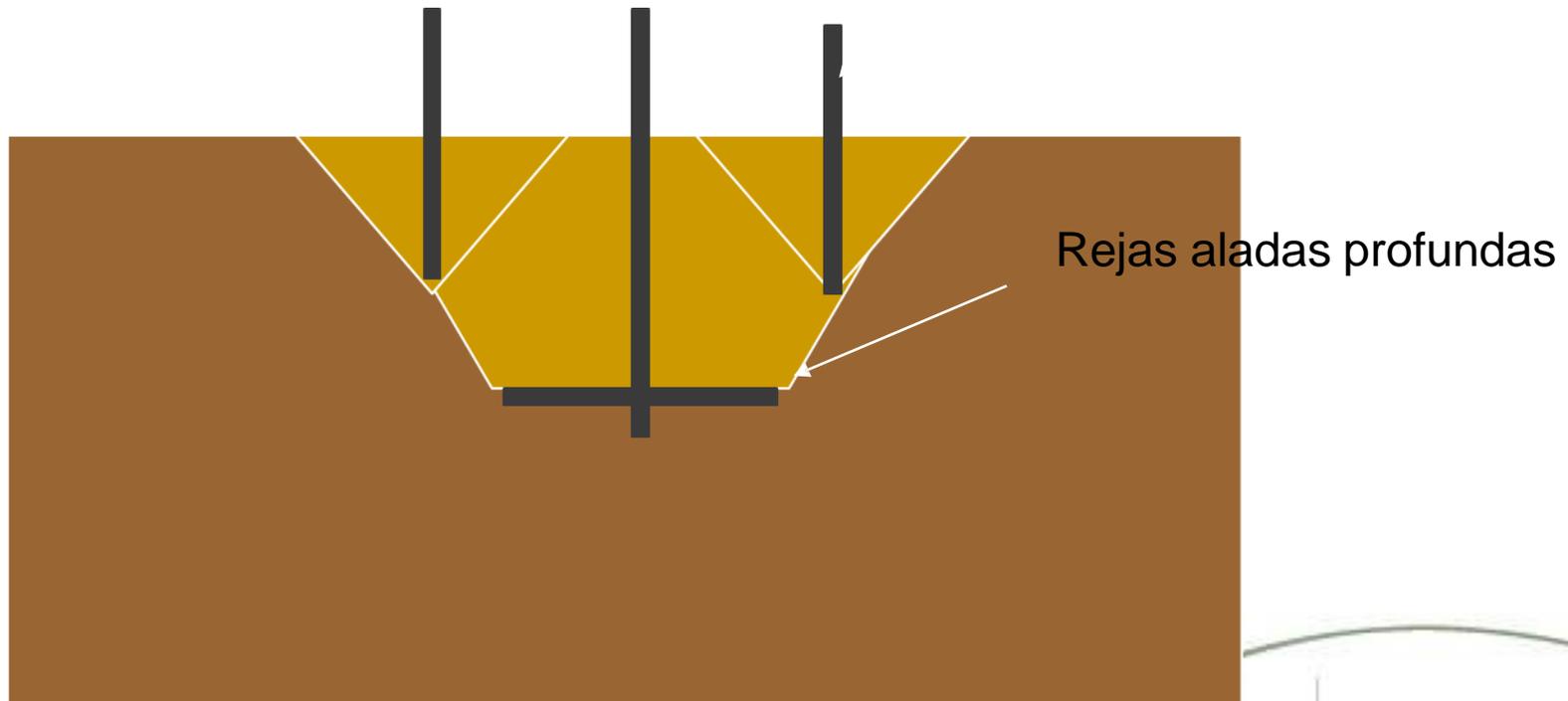




Figure 21. Subsoiler with shallow leading tines ahead of the deeper tines (photo by Dick Godwin).

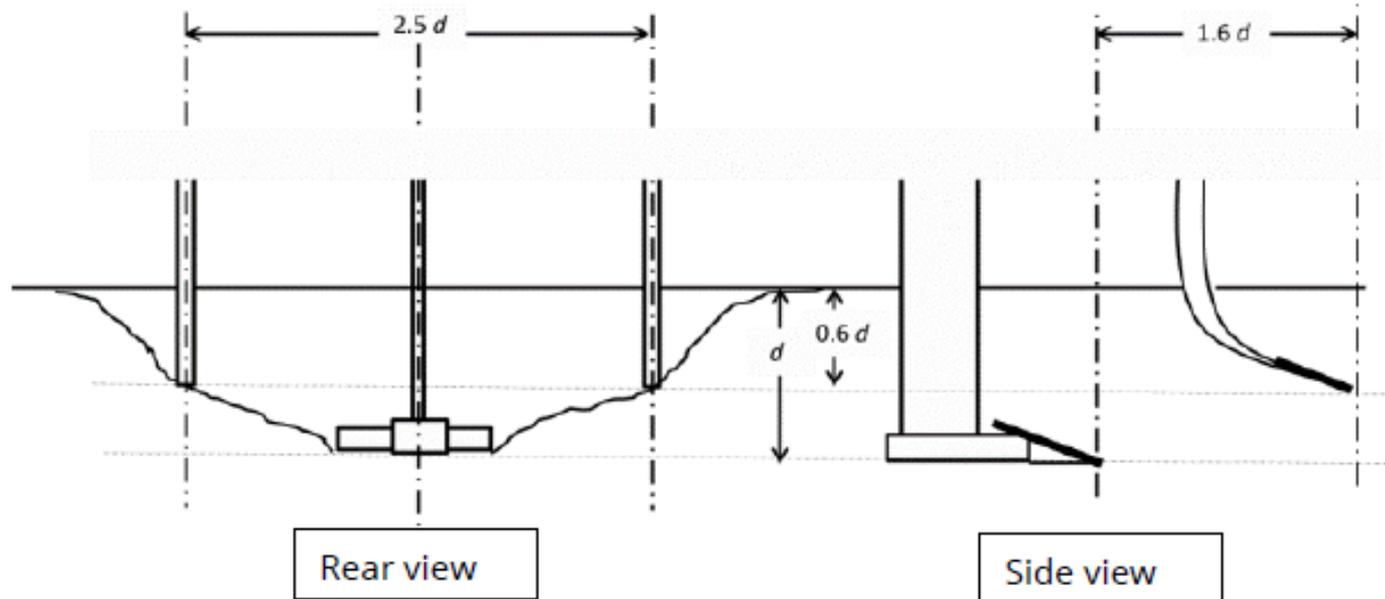


Figure 22. Optimal position of leading shallow tines, showing the soil disturbance pattern (left). Godwin and Spoor (2015) after Spoor and Godwin (1978). Reproduced with the kind permission of the authors and CABI.



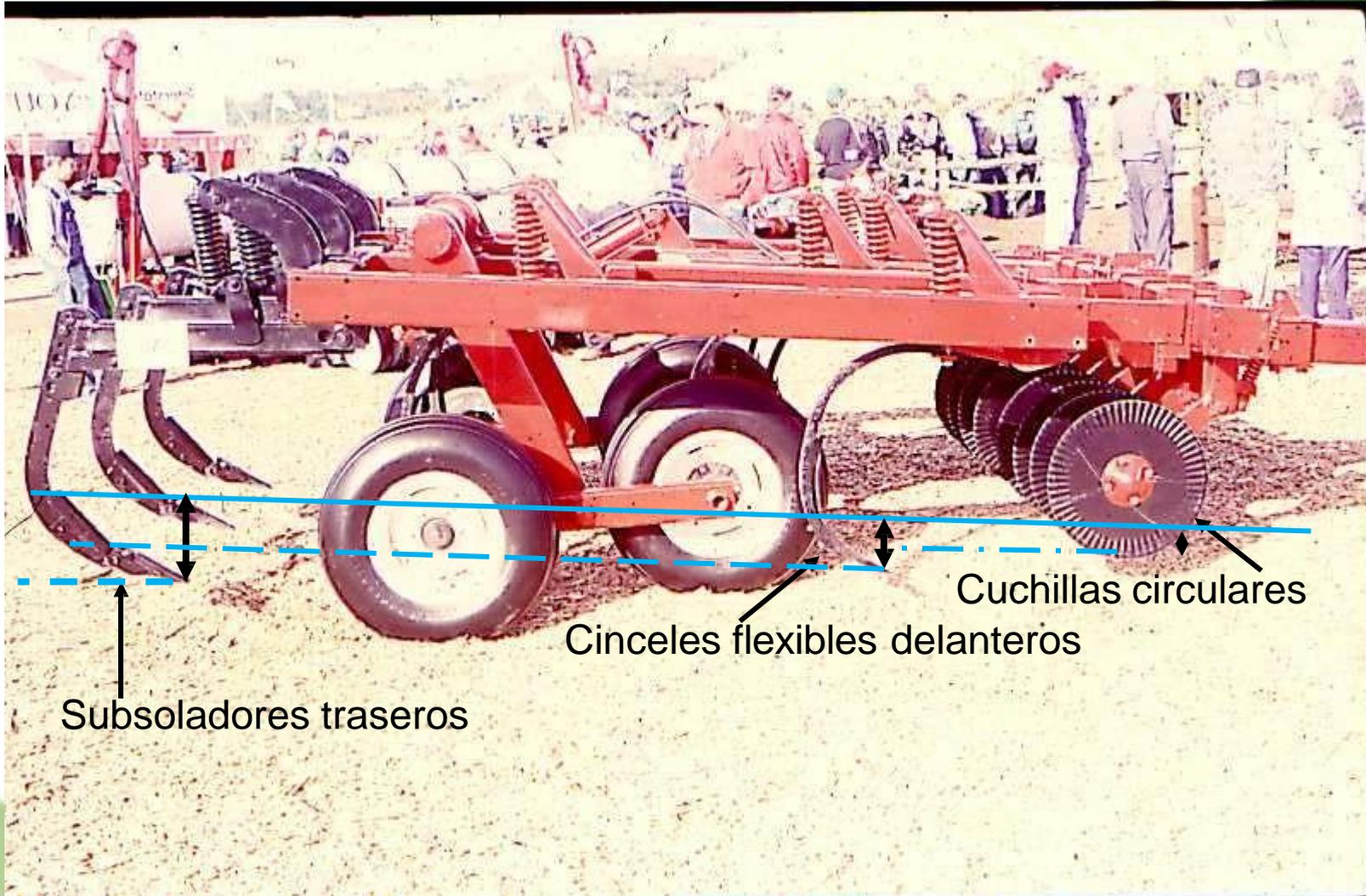
Figure 23. Soil disturbance from a winged tine only (top) and winged + shallow leading tines (bottom). Godwin and Spoor (2015) after Spoor and Godwin (1978). Reproduced with the kind permission of the authors and CABI.



Implementos combinados



Implementos combinados





Montantes angulados laterales





Montantes angulados

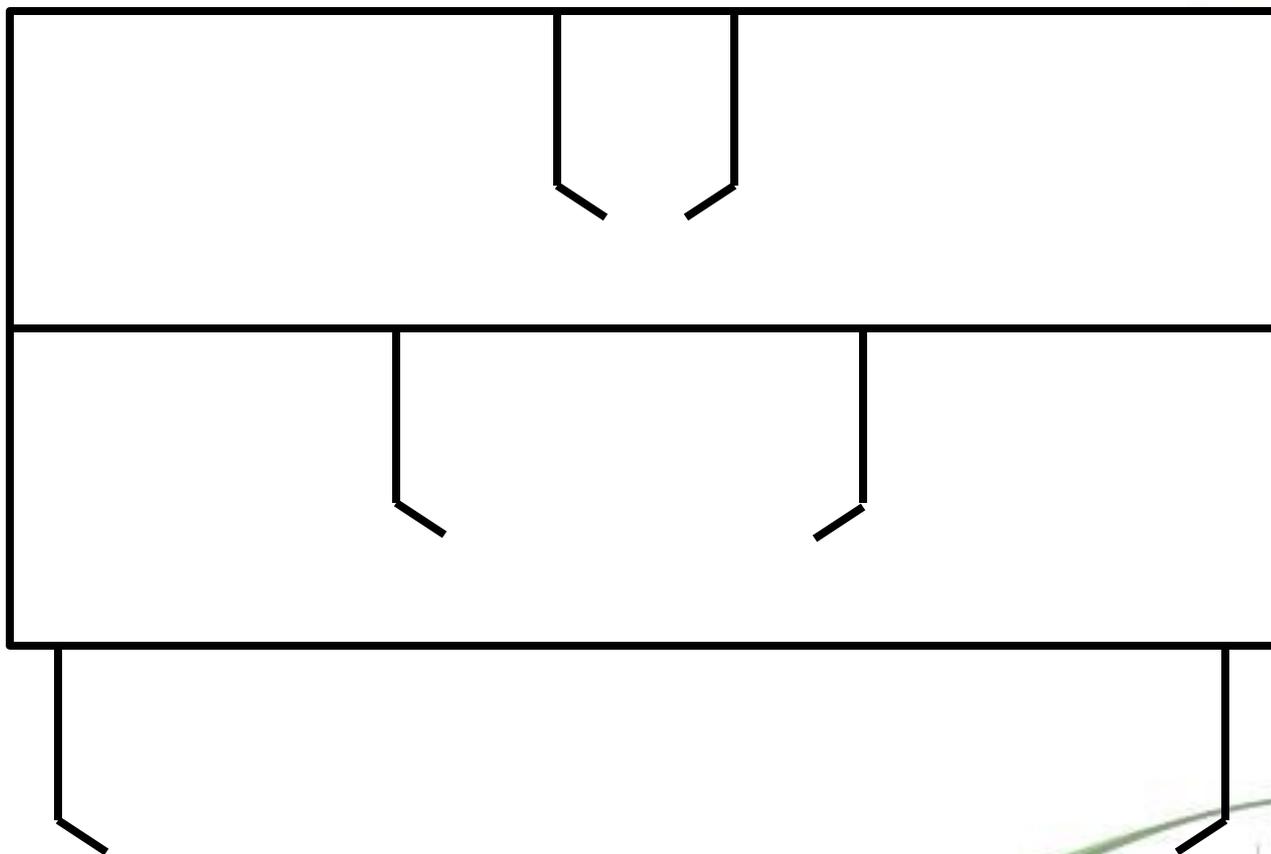
- ❖ **La angulación del montante es de 30°, 45° ó 60°**
- ❖ **Con 30°**
 - ❖ **Se alcanzan al menos los mismos efectos de superficie roturada y esfuerzos que con 45°**
 - ❖ **Se podrían utilizar menor cantidad de órganos**
 - ❖ **Cambia el grado de roturación del suelo roturación en profundidad**
- ❖ **Con 60°**
 - ❖ **Aumentan los esfuerzos al mover el suelo hacia adentro y no hacia arriba**





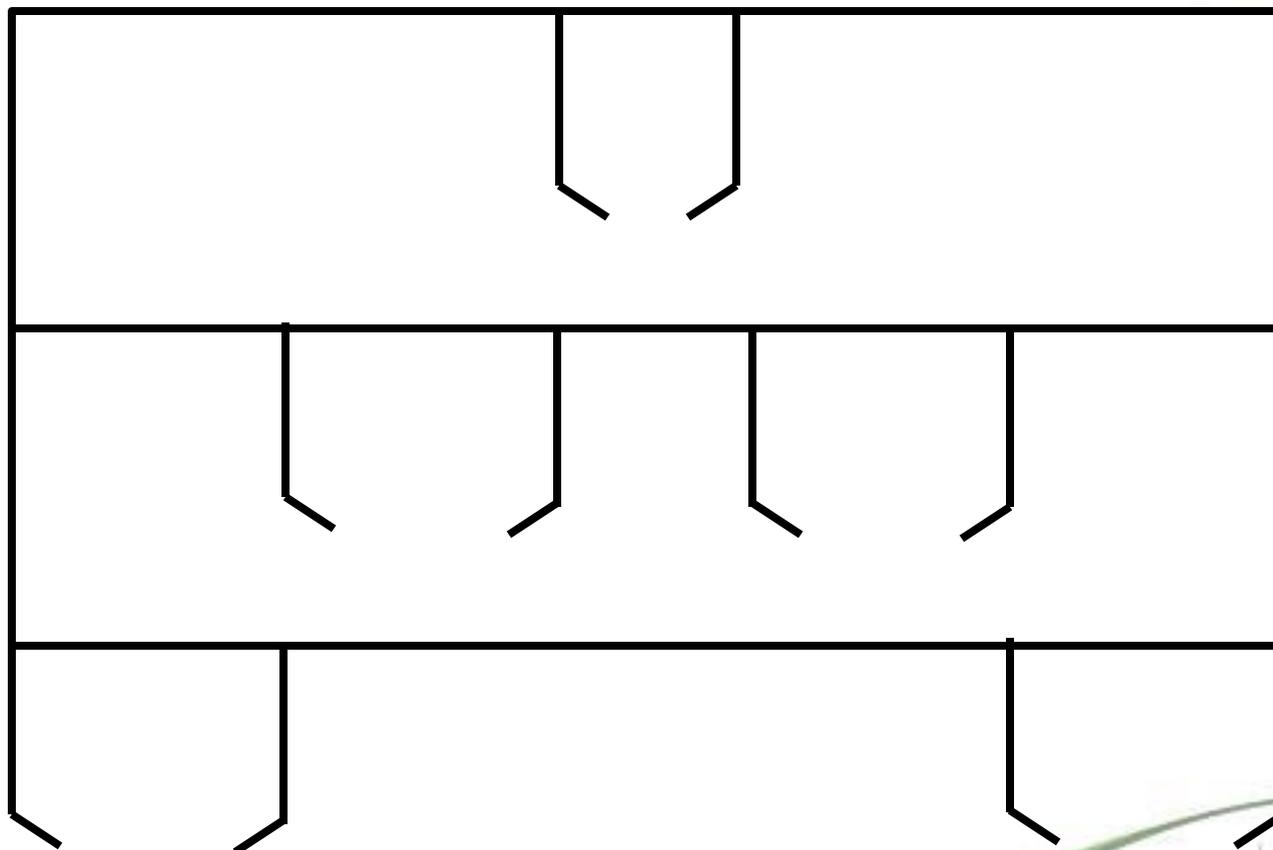
Espina de pescado



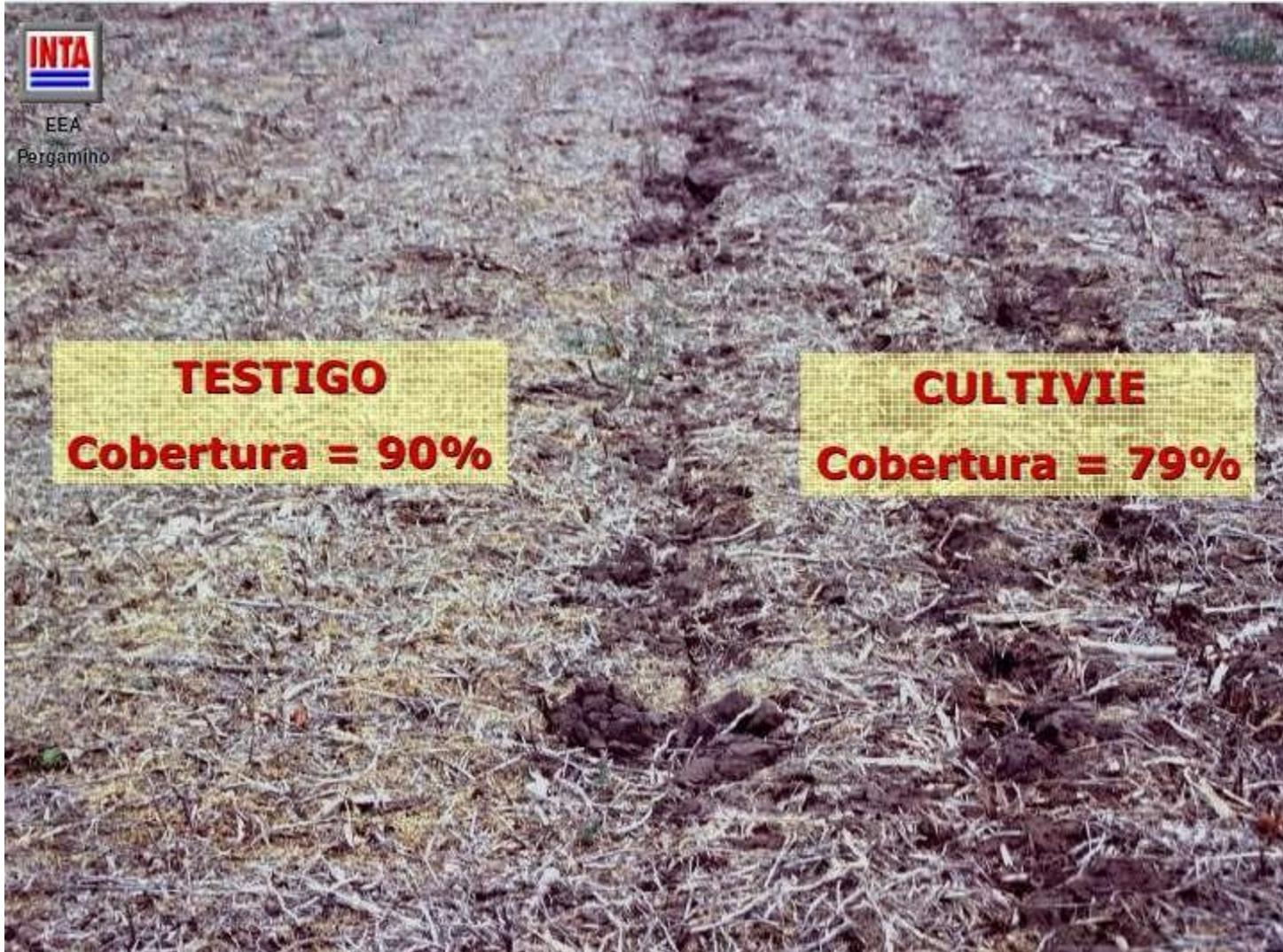


Concéntricos o encontrados





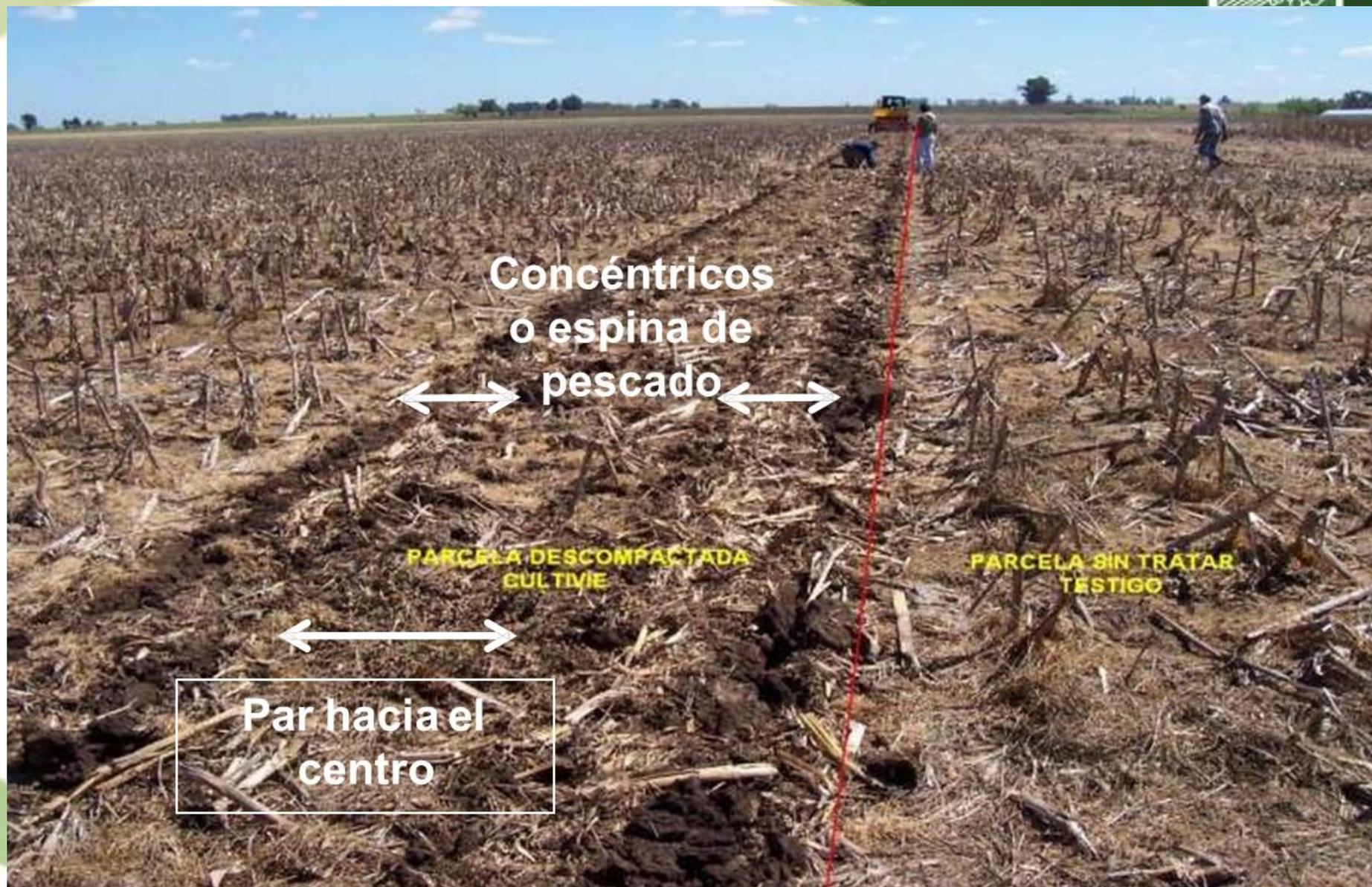




INTA
EEA
Pergamino

TESTIGO
Cobertura = 90%

CULTIVIE
Cobertura = 79%



Concéntricos
o espina de
pescado



PARCELA DESCOMPACTADA
CULTIVIE

PARCELA SIN TRATAR
TESTIGO



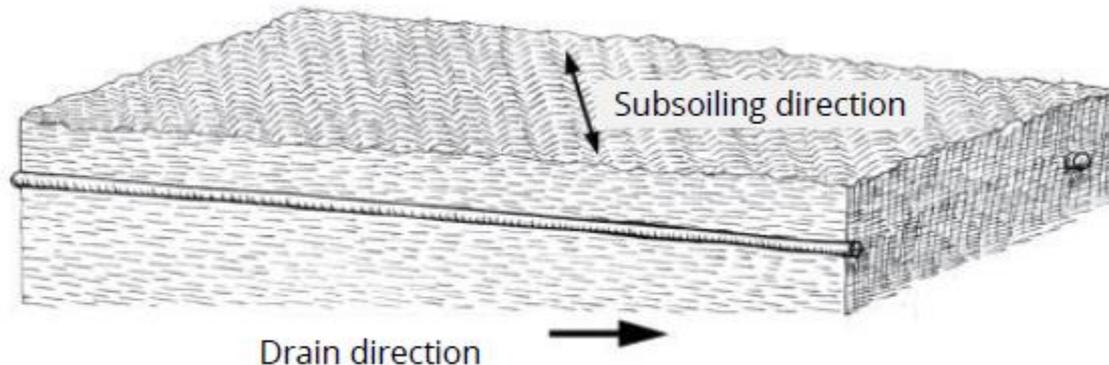
Par hacia el
centro

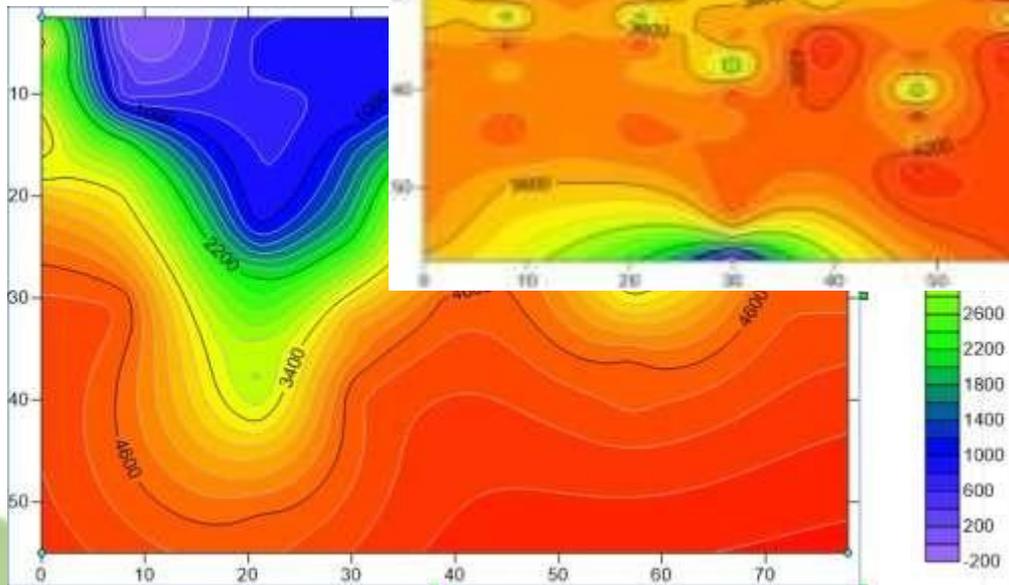
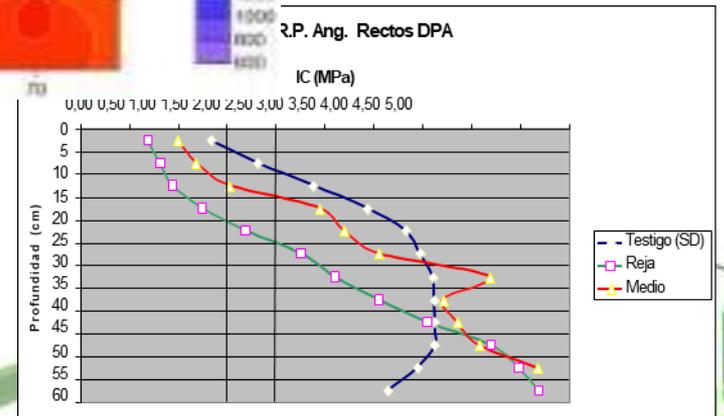
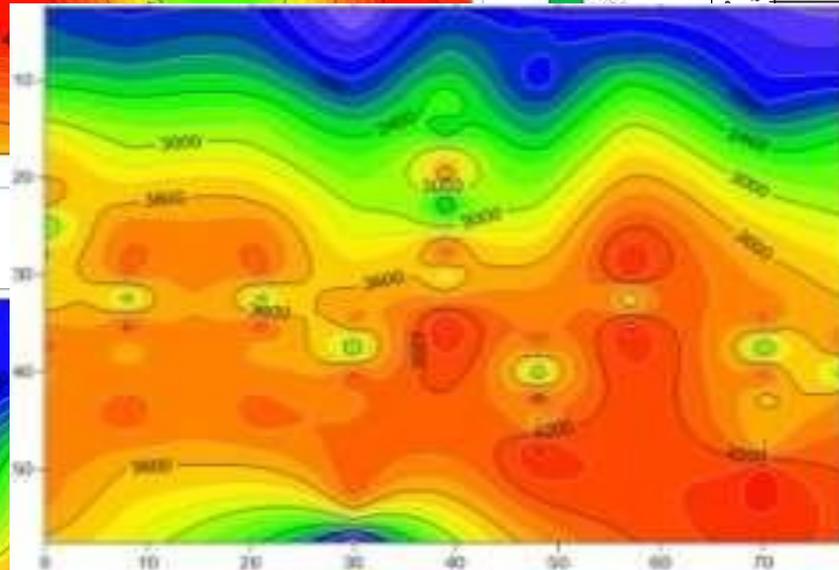
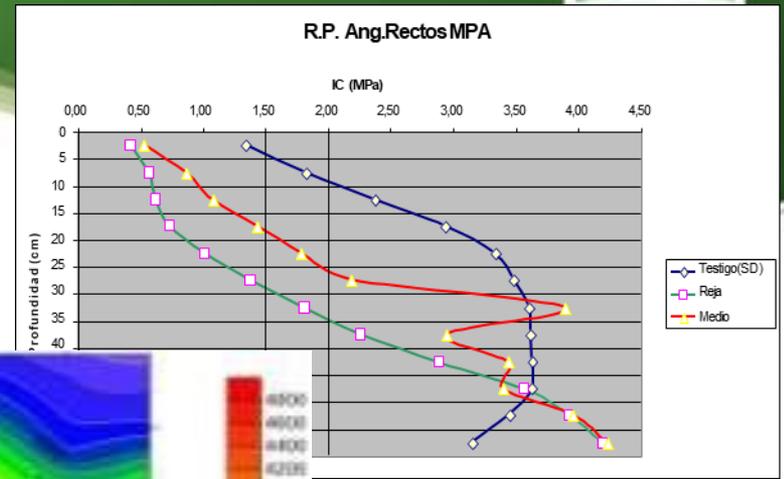
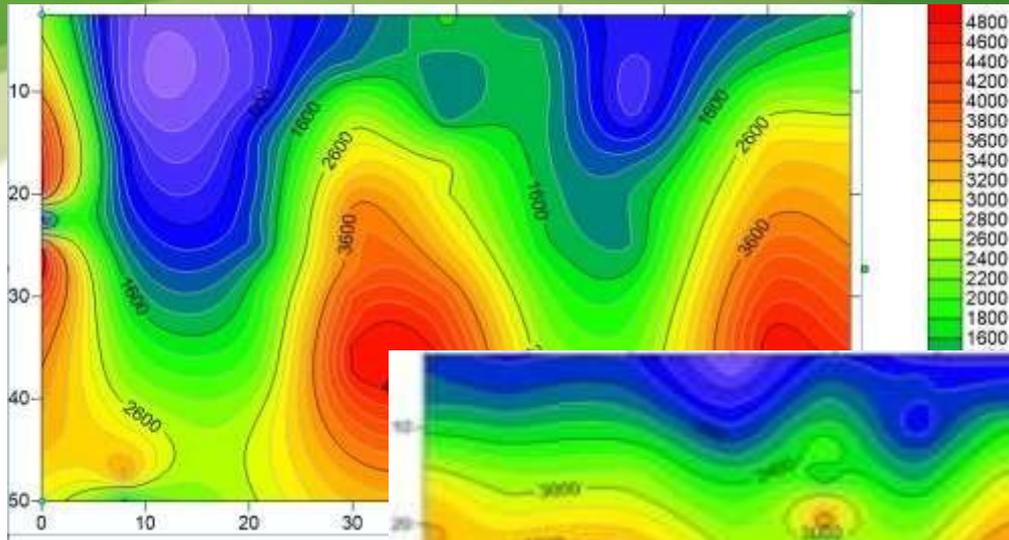
topografía de campo

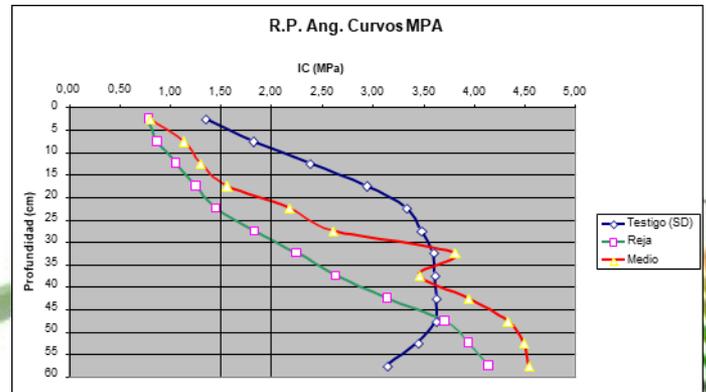
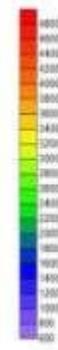
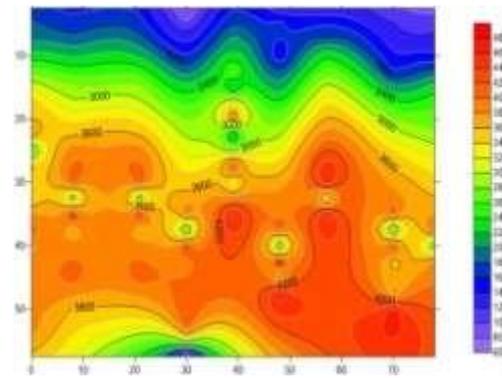
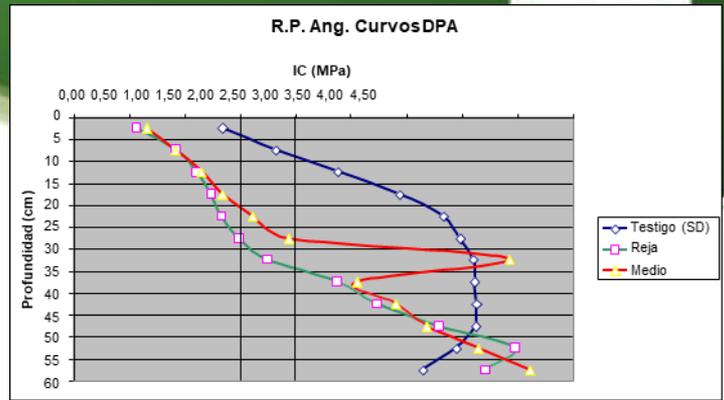
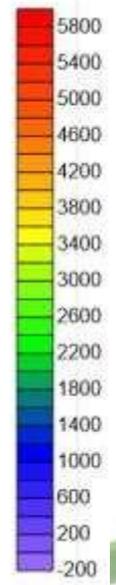
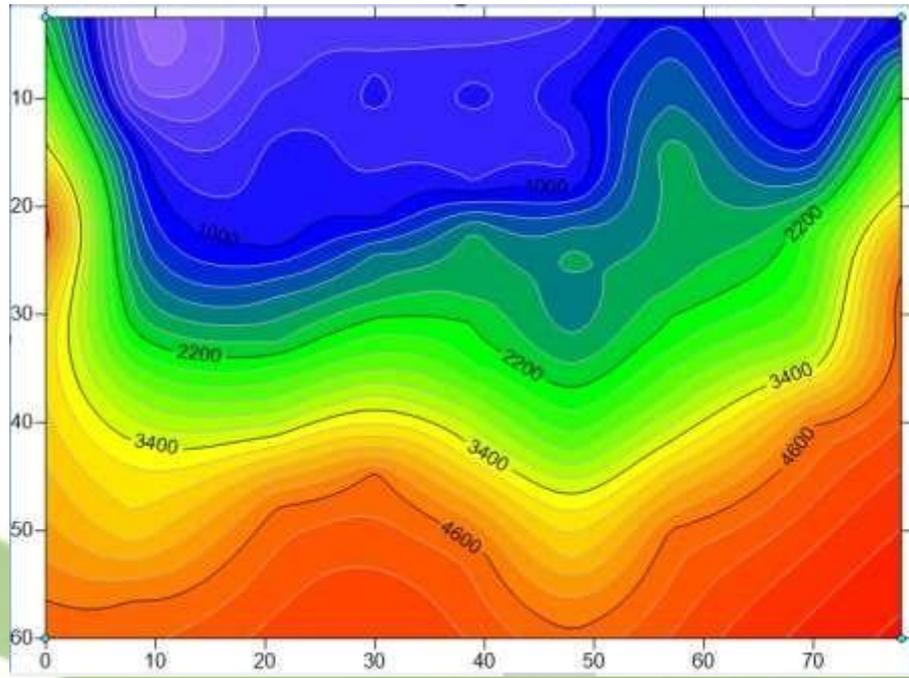
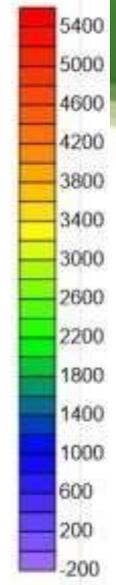
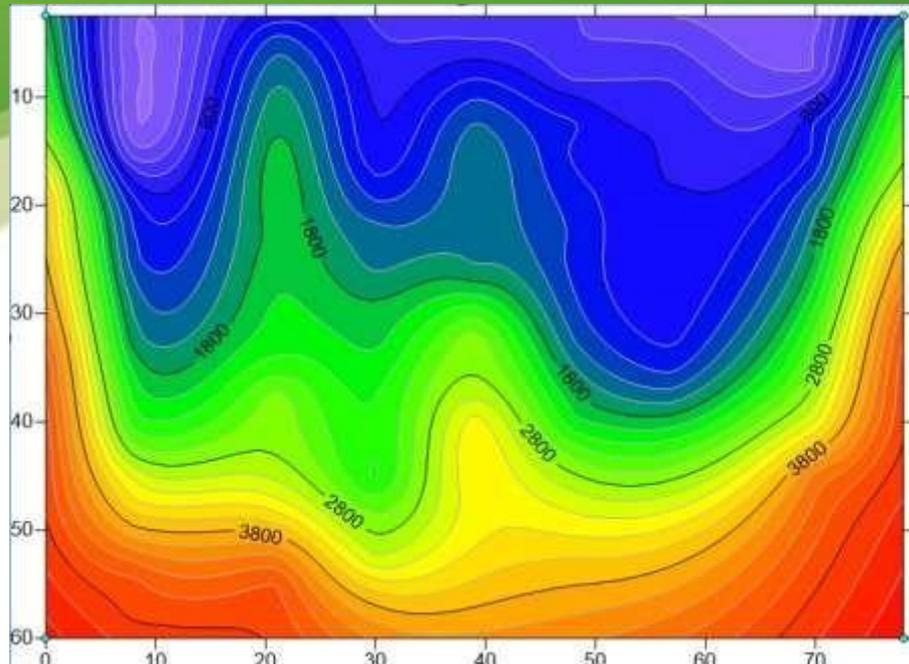
La dirección del subsolado debe planificarse en función tanto de la dirección de los drenajes subterráneos, si los hay, como de la topografía del terreno. Dado que el agua se mueve a lo largo del canal creado por el subsolado, es importante elegir una orientación del subsolado que optimice la eliminación de esta agua. Para lograr esto, se recomienda apuntar a un ángulo oblicuo con respecto a los drenajes subterráneos (Figura 1). También es importante no dirigir el agua hacia las zonas más bajas del campo. (**A guide to**

Successful Subsoiling

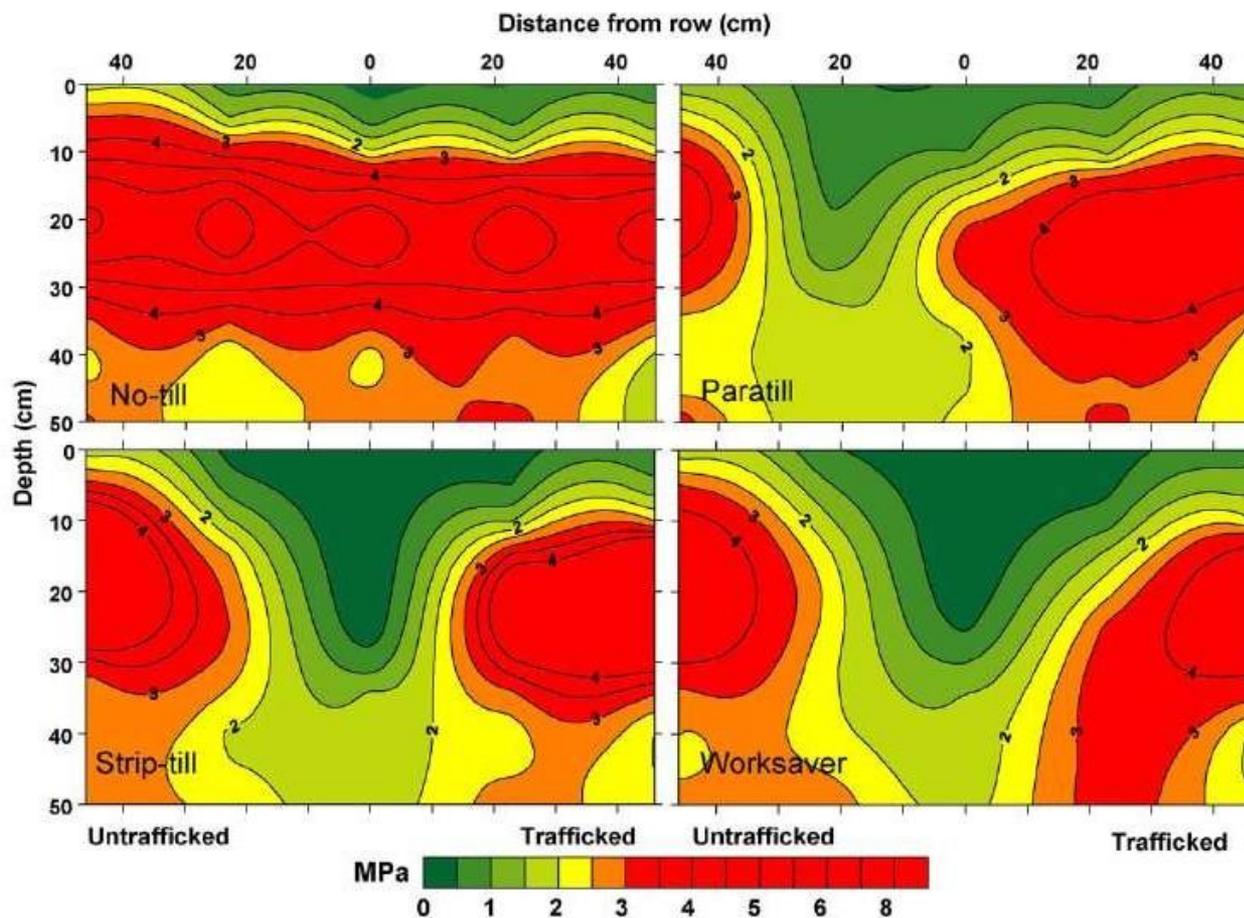
2015. Centre d'expertise et de transfert en agriculture biologique et de proximité CETAB+)

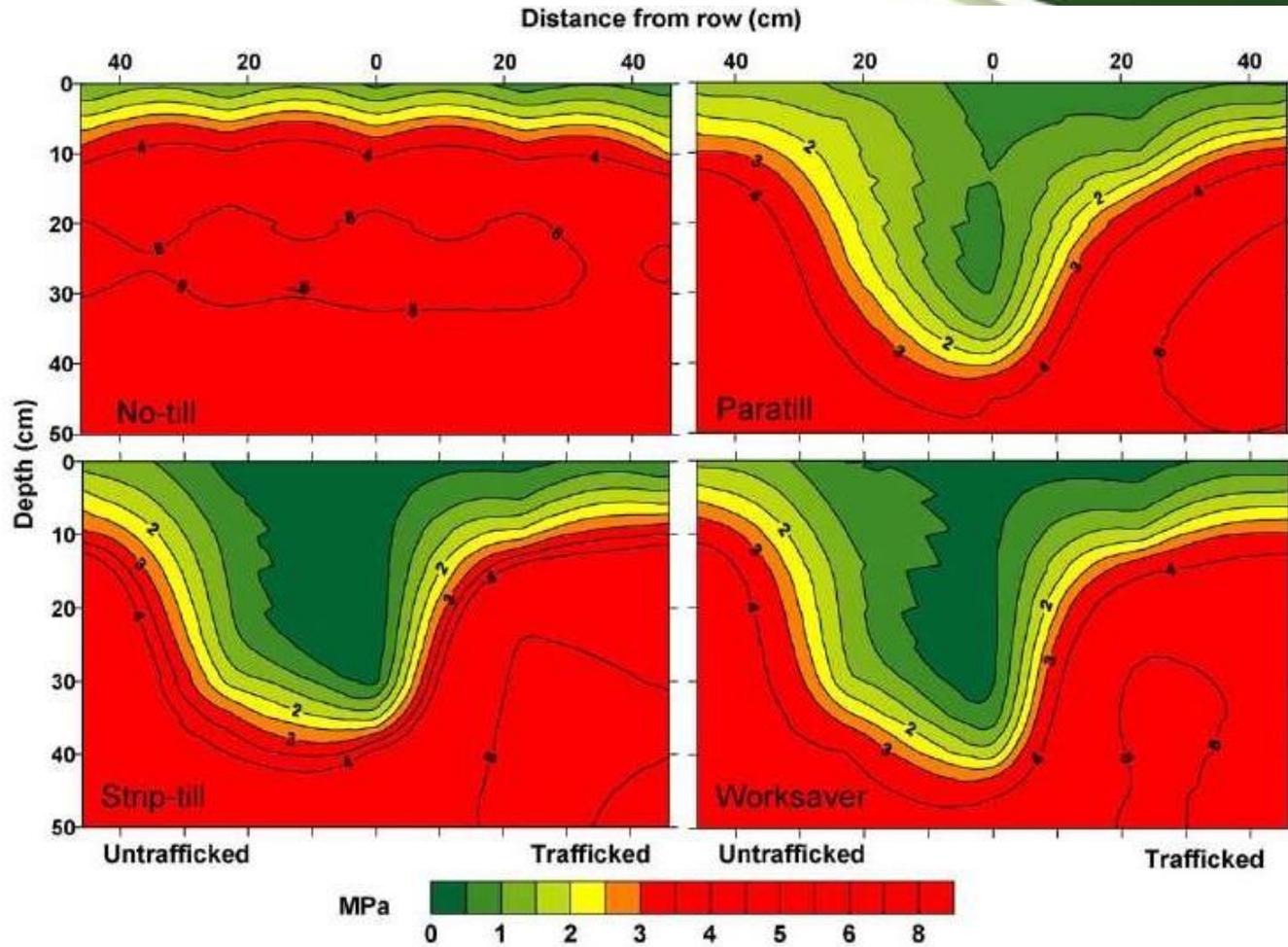






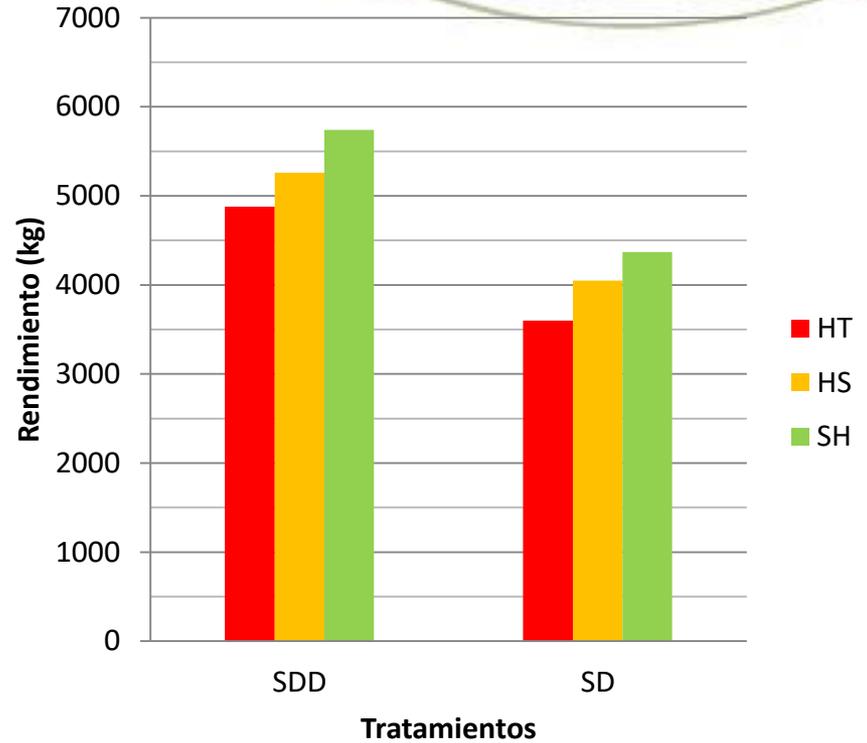
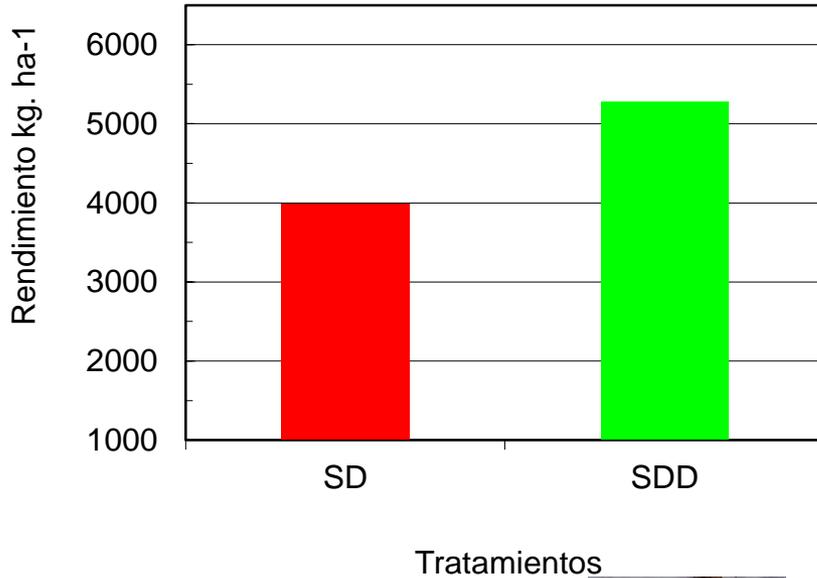
Descompactación a 0,38 m de profundidad





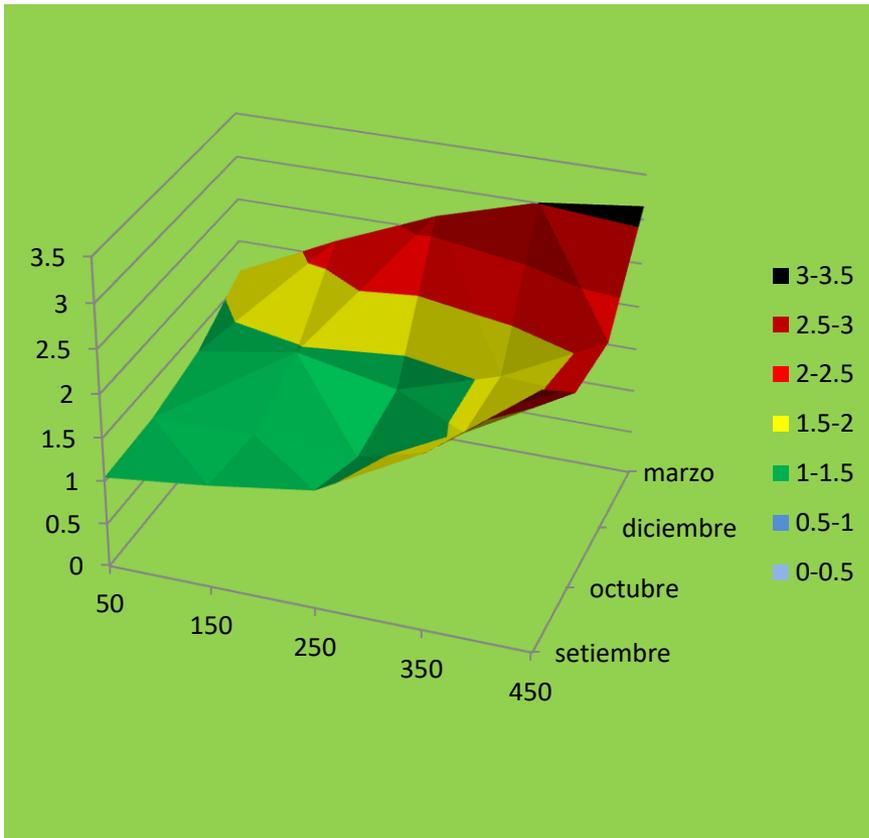
Rendimiento del cultivo

Tratamientos de labranza

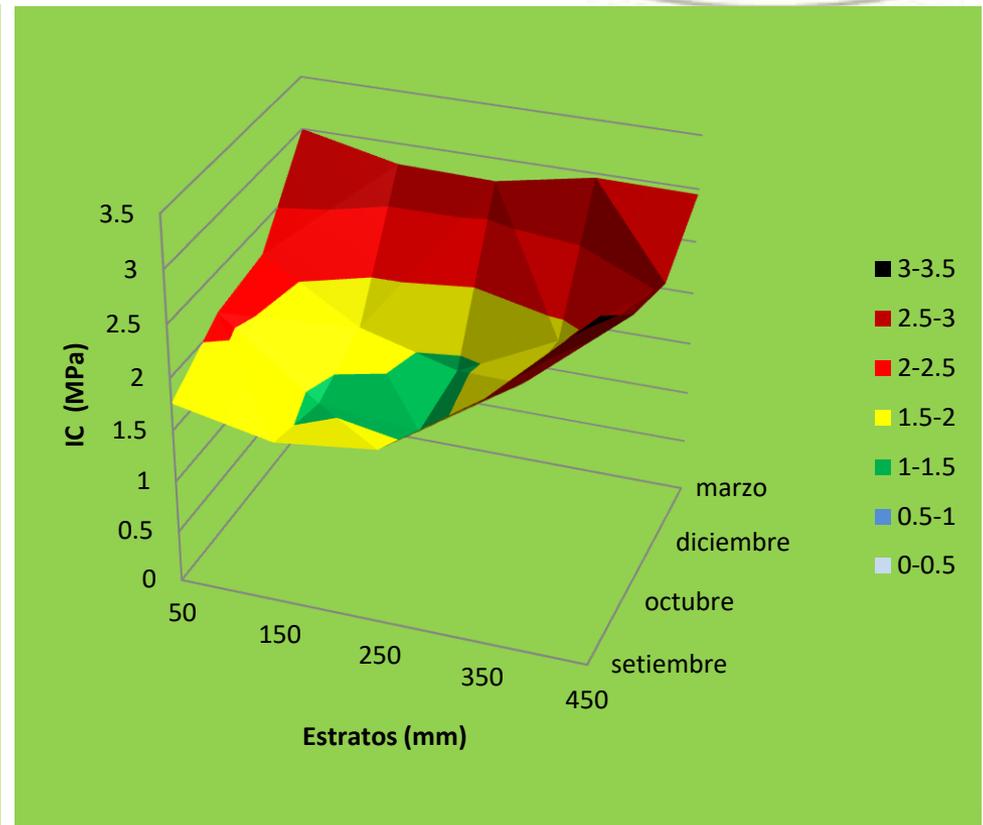


Efectos del tránsito

Evolución de la RP

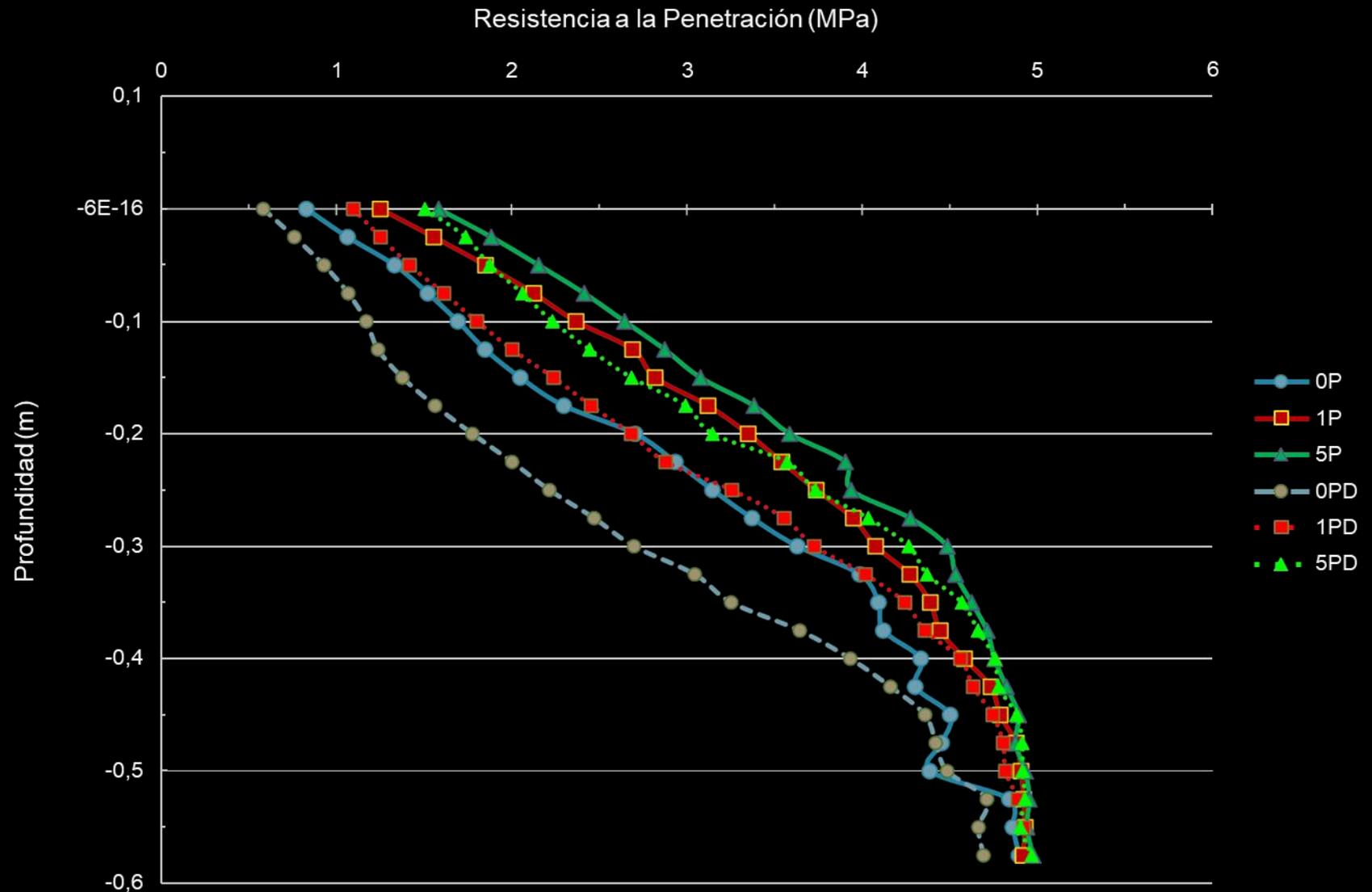


SDD

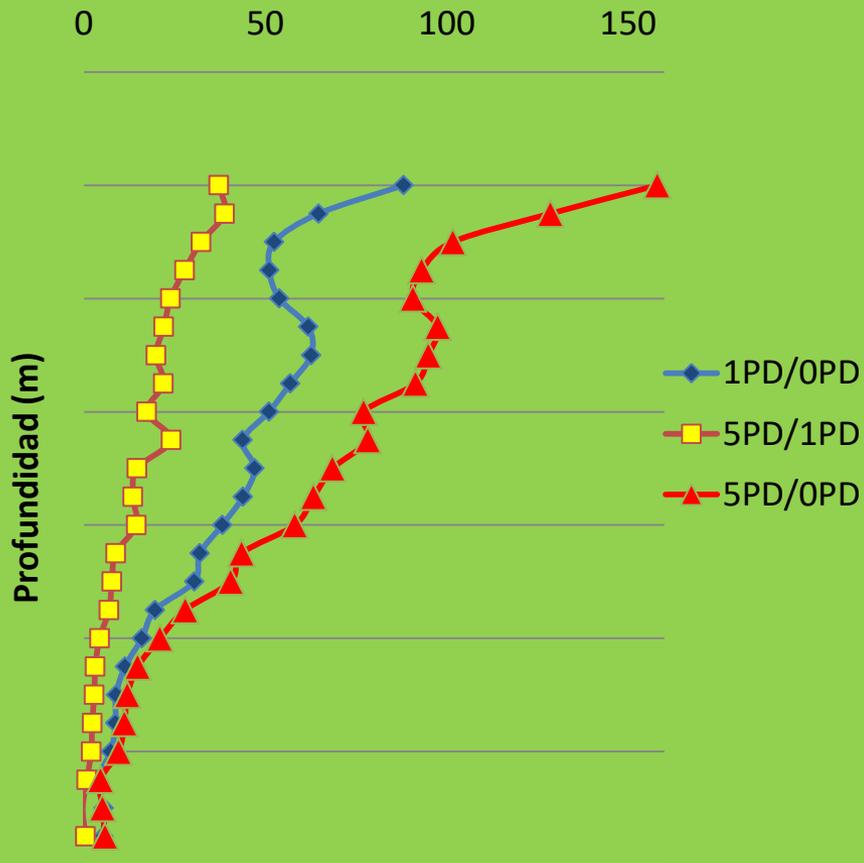


SD

Descompactación y tráfico

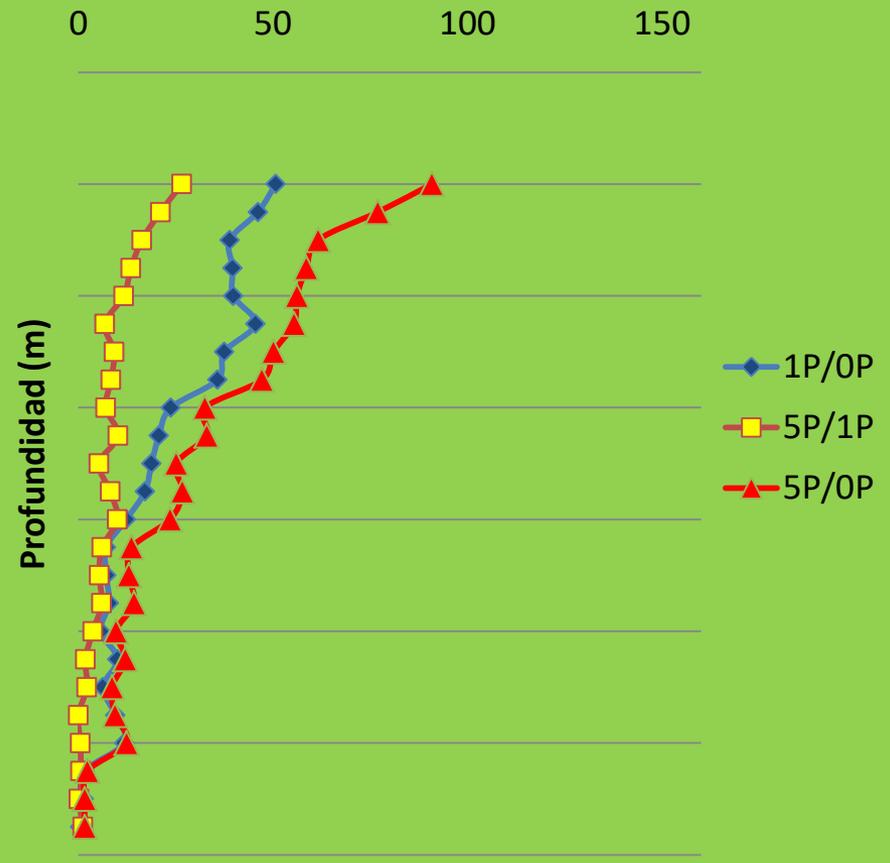


Variación de RP (%)



SDD

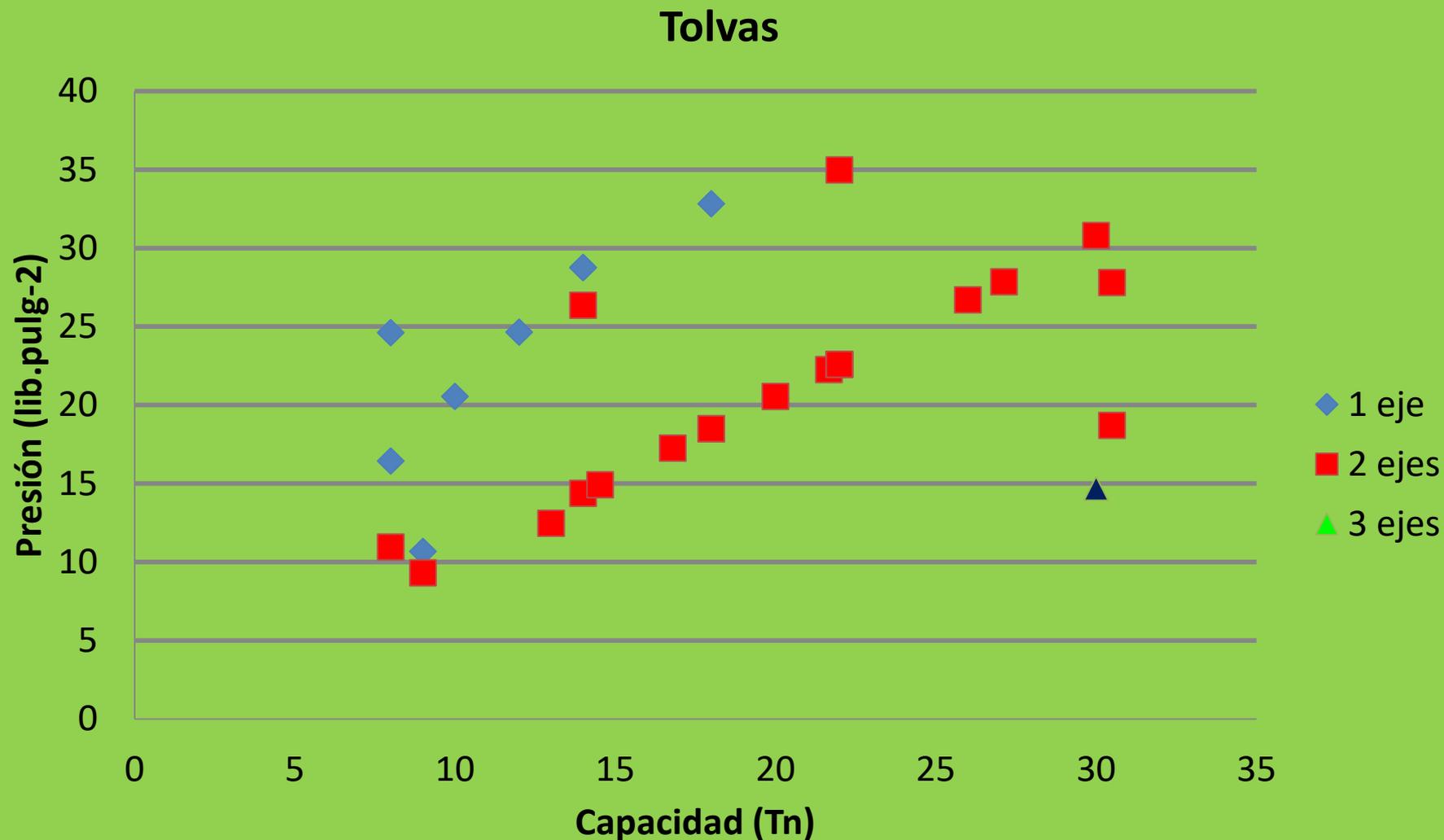
Variación de RP (%)



SD

QUE EXPECTATIVAS HAY SOBRE LOS PROCESOS DE COMPACTACIÓN?

Mercado de Tolvas





2595

0580

1500

Muchas gracias



Muchas

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA



Gracias!!

