

# Suelos compactados

Armando Tasistro PhD

Director Región México y América  
Central

[atasistro@ipni.net](mailto:atasistro@ipni.net)



# Contenido

- **Definiciones**
- **Causas**
- **Consecuencias**
- **Diagnóstico**
- **Manejo**

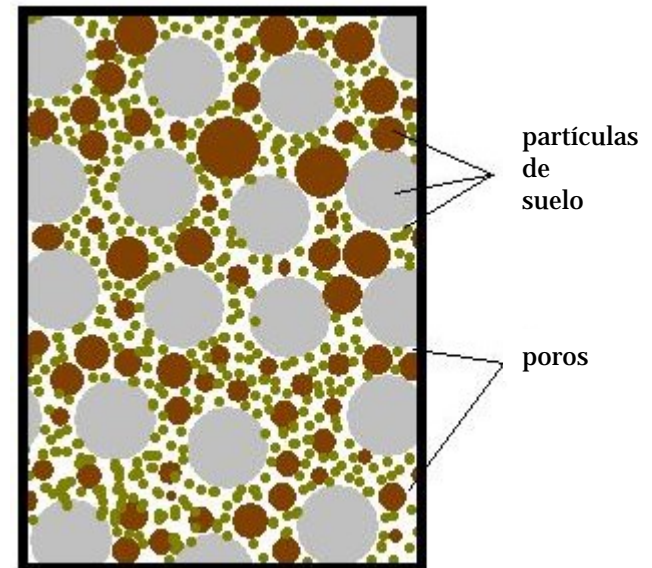
# definiciones

- volumen total del suelo =  
volumen de materiales sólidos  
+ volumen de poros;

- porosidad =  $\frac{\text{volumen de poros}}{\text{volumen total}}$ ;

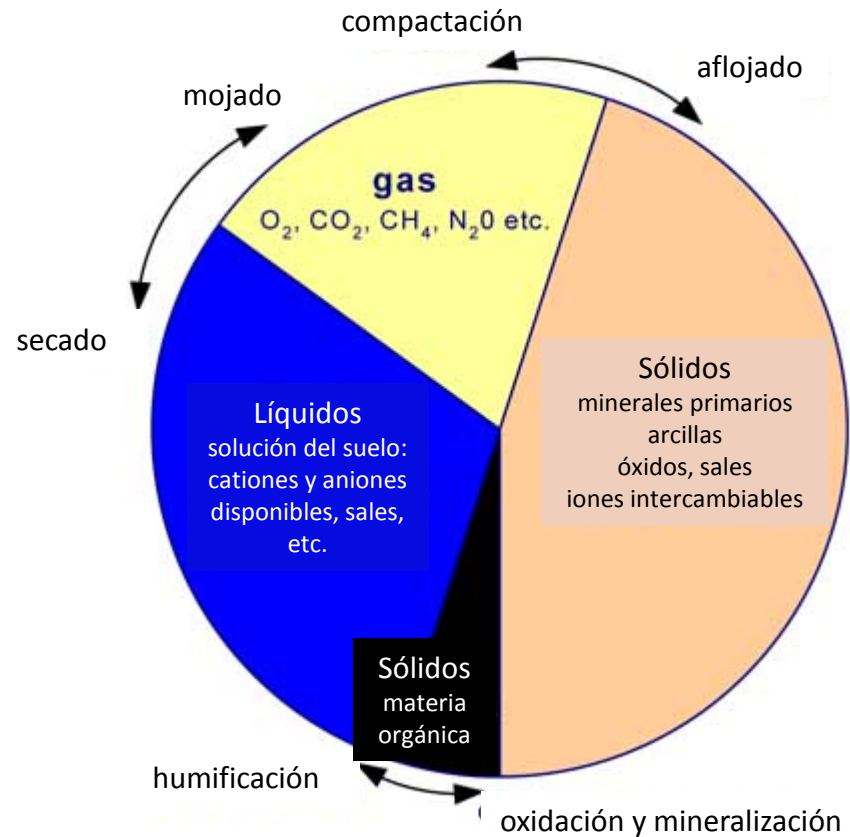
- normal ~ 50%

- densidad aparente ( $D_a$ ) =  $\frac{\text{masa seca de sólidos}}{\text{volumen total}}$ ;



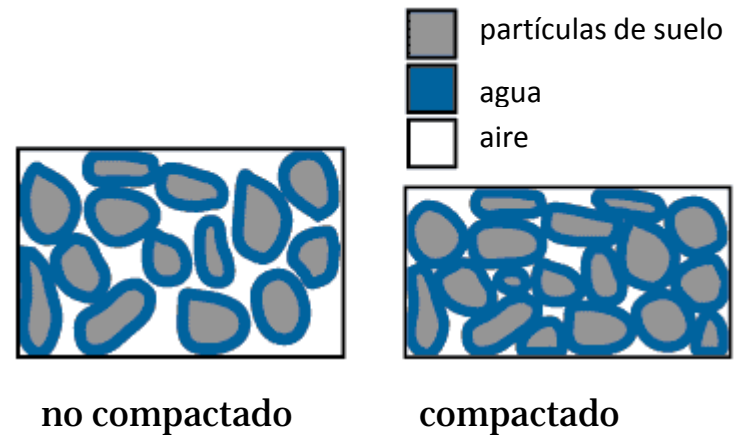
# Compactación

- ↓porosidad
  - ↓tamaño de poros
  - ↓continuidad de poros
- deterioro en la estructura
  - ↓tamaño de agregados
  - ↓estabilidad de agregados



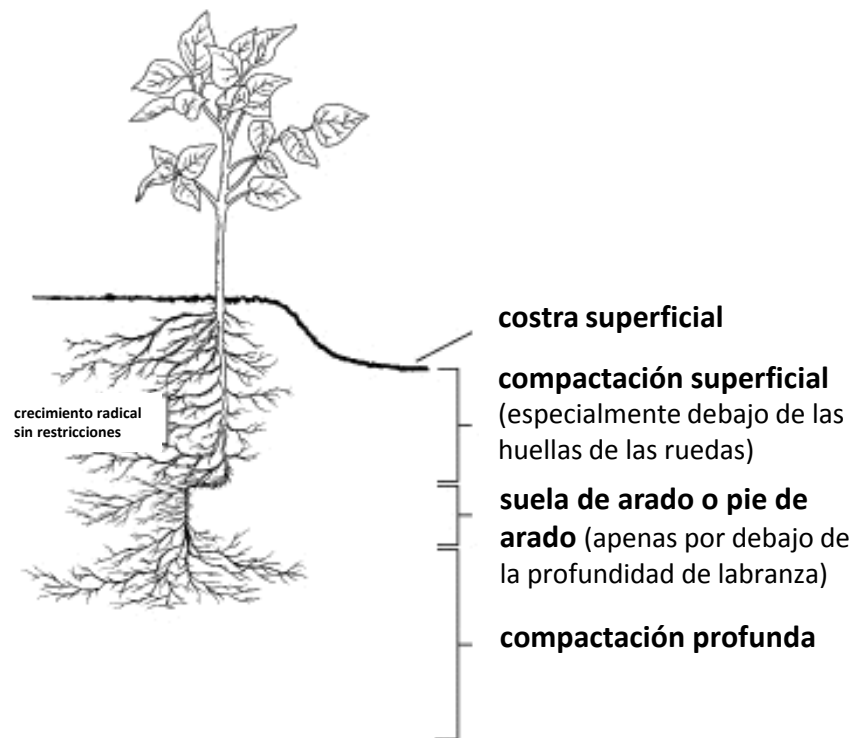
# Cambios principales cuando el suelo se compacta

- reducción en porosidad
  - especialmente poros  $> 30 \mu\text{m}$
- reacomodo de partículas



# Tipos de compactación

- Costras (en la superficie)
- Compactación superficial (en la capa arable)
- Suela de arado (= pie de arado)
- Compactación profunda (> 30 cm)



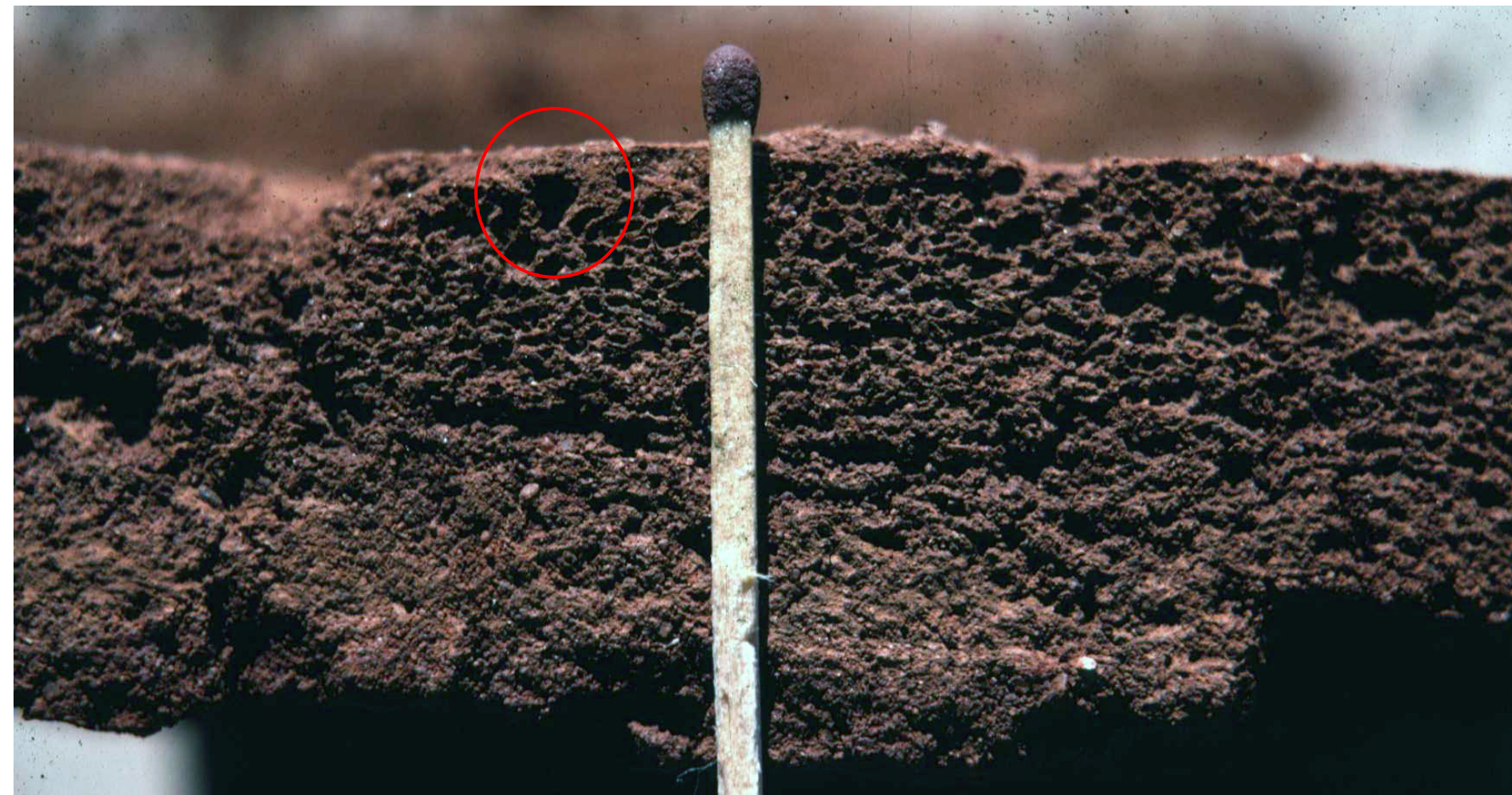
# Costras

- ↓ emergencia de plántulas
- ↓ intercambio gaseoso
- ↓ infiltración de agua
  - ↑ escorrentía
  - ↑ erosión
- Causas
  - Agregados débiles que se deshacen en contacto con el agua o por el impacto de gotas de agua
  - Fácil dispersión por
    - bajos contenidos materia orgánica y/o cationes floculantes
    - altos contenidos de  $\text{Na}^+$











# Compactación superficial

- observable entre la superficie del suelo y la profundidad de labranza (p. ej.: 0 a 20 cm de profundidad)
- corrección mediante
  - labranza normal
  - crecimiento de las raíces
  - actividad biológica
- el grado de compactación superficial determinado por:
  - contenido de humedad en el suelo cuando fue compactado
  - presión de contacto en el suelo provocada por la maquinaria o animales

# Pie o suela de arado

- localizado directamente por debajo de la profundidad de labranza normal
- con algunos centímetros de espesor
- causas:
  - laboreo del suelo siempre a la misma profundidad
  - rueda trasera del tractor va sobre un surco abierto por el arado



# Compactación profunda

- debajo del nivel de la labranza
- puede ocurrir naturalmente
- magnitud determinada por:
  - presión de contacto con el suelo
  - peso total en la rueda (carga/eje)
- difícil de eliminar
- puede tener efectos permanentes sobre la estructura del suelo
- es muy importante evitar su aparición



causas

# CAUSAS DE LA COMPACTACIÓN

- **Naturales**
  - Consolidación durante procesos de formación de los suelos
  - Encogimiento natural de los suelos al secarse
- **Asociadas a actividades humanas**
  - Pisoteo por animales o humanos
  - Presiones y deformaciones causadas por ruedas o implementos de labranza
  - Carga de agua e impacto de gotas en agregados debilitados (lluvia, riego rodado o por aspersión)



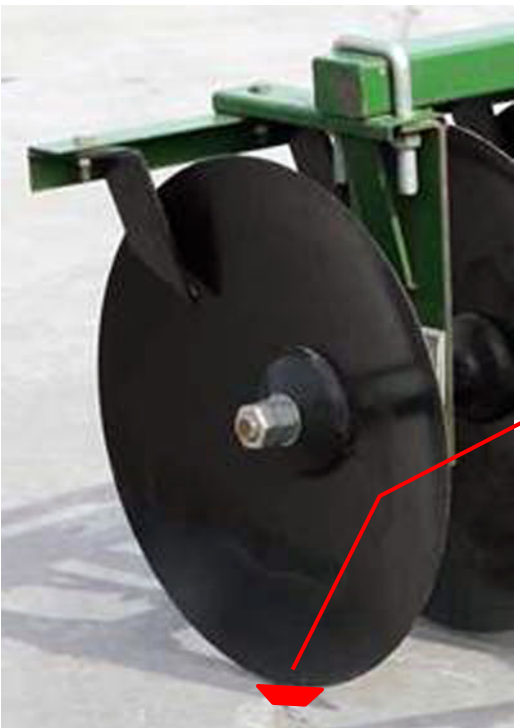


8 12 '86





Penetración por peso



$$\frac{\text{mucho peso}}{\text{área de contacto muy pequeña}} = \text{mucha presión}$$

**ROME**

Series

**TBW****Wheel Offset Disk Harrows**

for use with tractors in the 37 to 138 horsepower range



100 kg/disco

**Series TBW Wheel Offset Disk Harrows**

11" (279 mm) Disk Spacing; 1-15/8" (41.3 mm) Round Axles. Equipped With Dual Tapered Roller Bearings.

## FEATURES

- ‡ High gang carrier design to prevent
- ‡ Boxed angle construction, welded
- ‡ Tapered roller gang bearings -
- ‡ Adjustable disk blade scrapers.
- ‡ Up to 242 pounds (110 kilograms) model.
- ‡ Up to 9 (229 mm) inches maximum blade.
- ‡ Dual purpose transport unit series

Model Number	Width Of Cut	No. of Disks	* Suggested		Wt. per Disk lbs.	Net Weight lbs.
			DB. PP.	DB. HP.		
TBW-16	7' - 0"	16	4000-6000	37-56	252	4,024
TBW-20	8' - 6"	20	4600-6600	43-62	224	4,490
TBW-24	10' - 6"	24	5600-7600	52-71	223	5,360
TBW-32	14' - 0"	32	8200-10200	77-95	233	7,465
TBW-40	18' - 0"	40	12800-14800	119-138	277	11,080

\* Drawbar Pounds Pull, PTO Horsepower and Drawbar Horsepower are suggested ranges and vary according to soil conditions and weight added to harrow. Harrow weights shown are with standard 26" x 5/16" thick, cutout, deep concavity disk blades.



# Pisoteo por el ganado



mucho peso

área de contacto muy pequeña = mucha presión

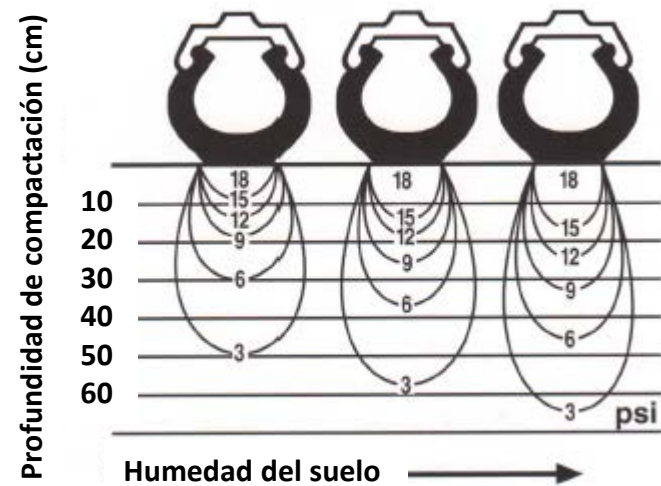


# El grado de compactación depende de

- **Suelo**
  - contenido de agua
  - textura
- **Magnitud de las fuerzas aplicadas**
  - peso de la maquinaria
  - presión de inflado de las ruedas
  - número de pasadas con la maquinaria
  - patinaje de las ruedas
  - velocidad
  - dimensiones de las ruedas

# Contenido de agua

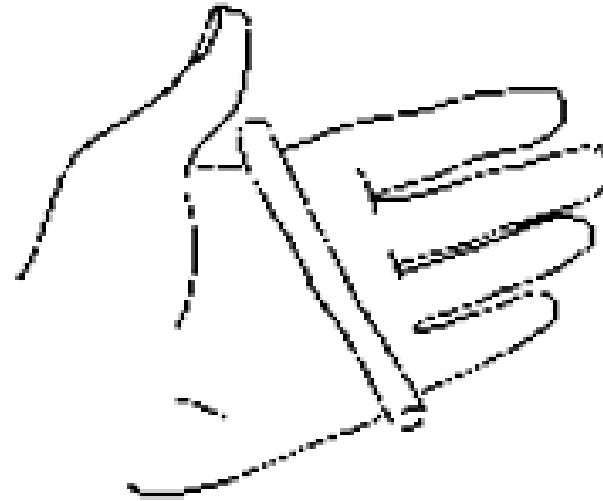
- La resistencia del suelo a fuerzas externas disminuye rápidamente con mayores contenidos de humedad



(Tamaño de llanta 11 x 28, carga 750 kg, presión 12 psi)

# ¿Cómo estimar la humedad del suelo en el campo?

- en varios puntos del lote y tomando muestras a profundidad, al menos hasta donde se planea trabajar
  - toma un puñado de suelo, amásalo rápidamente y haz una bola; trata de enrollarla y hacer un cilindro de ~ 3 mm de diámetro
1. puedes hacer el cilindro sin problemas
    - el suelo está muy húmedo
    - se va a compactar si lo trabajas o por el tráfico de animales o maquinaria
  2. apenas puedes hacer un cilindro que se deshace
    - se puede transitar y labrar sin compactación
  3. no puedes formar el cilindro de ninguna manera
    - puede ser que el suelo esté muy seco para la labranza si es arenoso o franco



Si puedes hacer esto con tu suelo, está muy húmedo para trabajarlo

# Textura del suelo

- franco arenosos
- francos
- franco arcillo arenosos

se compactan más  
fácilmente que

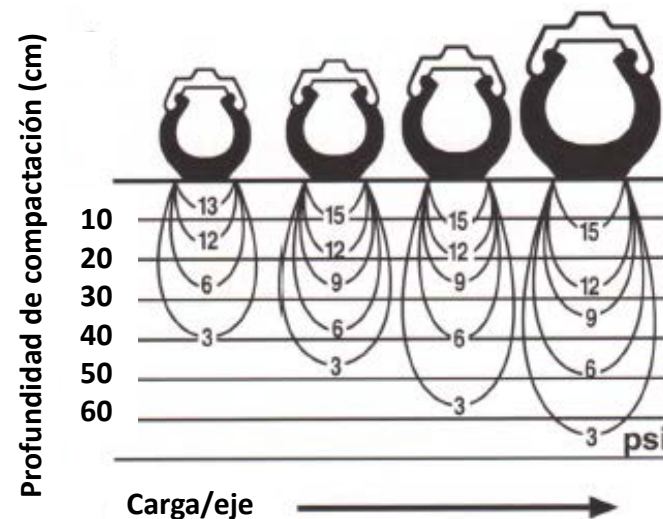


- limosos
- franco limosos
- franco arcillo limosos
- arcillo limosos
- arcillosos



# Peso de la maquinaria

- compactación superficial
  - probable con cualquier carga
- compactación del subsuelo
  - raro con cargas por eje menores a 5 ton
  - altamente probable con cargas mayores a 10 ton por eje.
- duales reducen compactación superficial pero no la subsuperficial ya que no cambia la carga por eje



(La presión de las ruedas fue 12 psi para todos los tamaños de rueda)



Tractor de 100 HP,  
7 ton; 3.5 ton/eje  
(sin carga)



Tractor 4x4 15 ton;  
7.5 ton/eje



Aplicador de  
estiércol líquido,  
lleno (30 ton): 10-  
15 ton/eje (2 o 3  
ejes)



Remolque, eje  
sencillo, lleno de  
grano; 22 ton/eje



Combinada de 6  
surcos, vacía,  
11,500 kg; 10 ton  
en el eje delantero

# consecuencias

# Efectos sobre el cultivo

1. Operaciones de campo
2. Emergencia del cultivo
3. Disponibilidad de agua
4. Disponibilidad de oxígeno
5. Disponibilidad de nutrientes

# Operaciones de campo

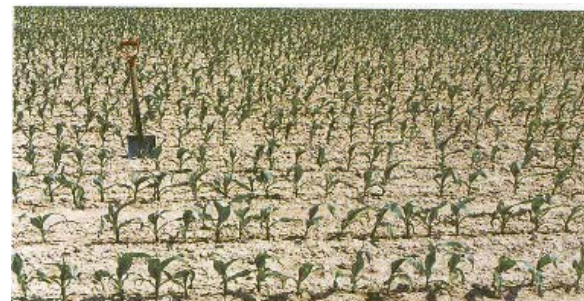
- Limitadas en suelos compactados y húmedos
- Contenidos de agua límite dependen de textura del suelo y tipo de labor

# Emergencia del cultivo

- difusión de oxígeno en agua es 10,000 veces más lenta que en aire
- acumulación de agua en cama de siembra limita disponibilidad de oxígeno para semillas
- costras
  - $> 1\text{m}^2$  → semillas dependen del oxígeno presente cuando se formó la costra
  - cama de siembra de 5 cm de profundidad, con 10% de poros con aire, contiene máximo  $1\text{ L m}^{-2}$  de oxígeno
    - se consumirá en horas si la demanda es alta o en un día si es baja

# Emergencia del cultivo

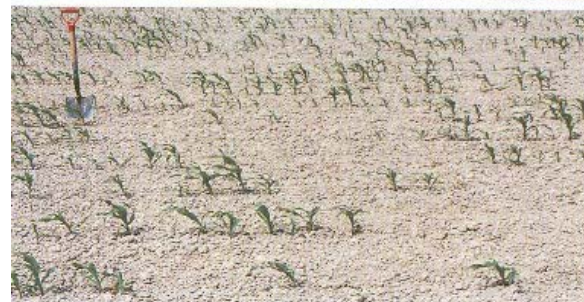
- atrasos y/o fallas en emergencia
  - falta de oxígeno
  - barrera mecánica al secarse la superficie
- distribución irregular de plantas



**GOOD CONDITION VS = 2**  
Good emergence and plant establishment, with few gaps along the planting row and crop showing an even height



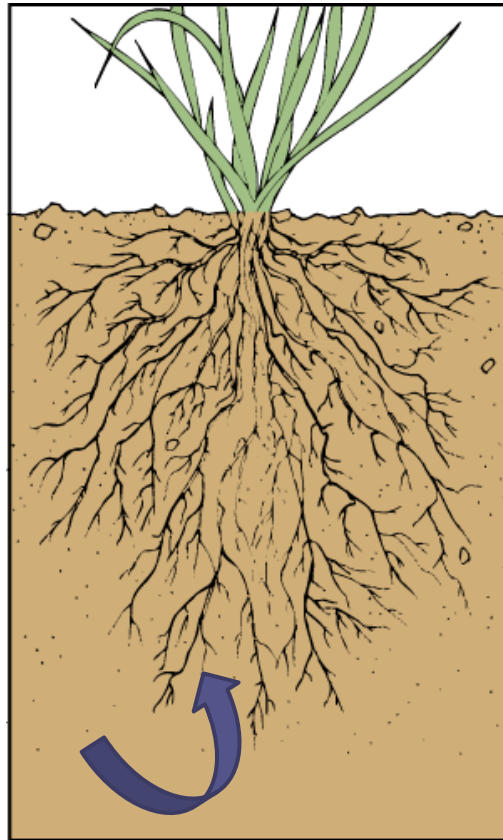
**MODERATE CONDITION VS = 1**  
Moderate emergence and plant establishment, with a significant number of gaps along the planting row and a significant variation in seedling height



**POOR CONDITION VS = 0**  
Poor emergence and plant establishment, with a large number of gaps along the planting row and a large variation in seedling height

# Disponibilidad de agua

- **Suministro por el suelo**



- Cambios en distribución de tamaños y continuidad de poros
  - ↓ **conductividad hidráulica saturada**
    - infiltración
    - evaporación
    - redistribución
    - capilaridad
    - movimiento hacia abajo del agua



# Disponibilidad de agua

- Toma por el cultivo

## **Suelos muy compactados bajo capacidad de campo**

- Tasa de crecimiento de raíces < 20% de la observada en suelos no compactados
- ❖ **Compactación puede reducir la longitud de las raíces sin afectar el volumen del sistema radical**

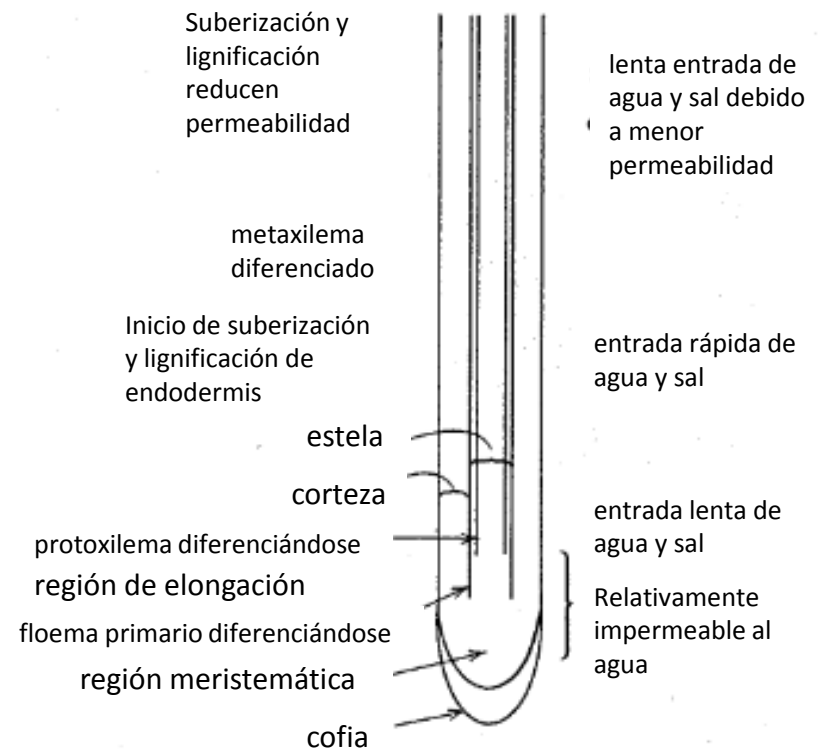
volumen de suelo ocupado por raíces

Suelo	Tasa de crecimiento de raíces (cm d <sup>-1</sup> )	Tiempo para llegar a 25 cm de profundidad (d)
No compactado	3	7
compactado	0.3	70

Profundidad de siembra = 4 cm

# Disponibilidad de agua

- Toma por el cultivo
  - compactación frena tasa de crecimiento de raíces pero no afecta su suberización
  - raíces que crecen lentamente tienen mayor resistencia al transporte de agua
  - resistencia al transporte ↑ con menos oxígeno



# Disponibilidad de agua



Mayor compactación

- menos agua disponible
- menor crecimiento de raíces

# Disponibilidad de oxígeno

- **Suministro por el suelo**
  - ↓ **porosidad con aire** (disminución 1.5 a 2 veces mayor que la de la porosidad total)
  - ↓ **tasa de difusión de oxígeno**
    - ~ 0, con 2% porosidad con aire en arcilla y 10% en arena
  - ↑ **contacto raíz-suelo** → ↓ **contacto raíz-aire**
  - **efectos indirectos a través de la dinámica del agua**

# Disponibilidad de oxígeno

- Toma por el cultivo
  - Tasa de toma de oxígeno por peso fresco de raíz:  
~ 0.2 mg O<sub>2</sub> g<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>
  - Factores determinantes
    - actividad de la raíz
    - concentración de oxígeno en superficie de raíces
      - concentración crítica de O<sub>2</sub> en aire del suelo = < 5 a 10%
    - contacto raíz-suelo
    - coeficiente de difusión de oxígeno en suelo
    - distancia desde la superficie
      - movimiento del oxígeno desde capa arable a subsuelo

# Disponibilidad de oxígeno

- **Respiración de suelo + raíces / verano / climas templados:**
  - 300 a 1,500 mg O<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>
  - respiración de raíces = 50%
  - porosidad con aire varía desde 10% (superficie) a 0% (napa colgada a 1 m de profundidad)
  - cantidad de aire = 50 L m<sup>-2</sup>
  - cantidad de O<sub>2</sub> = 10 L m<sup>-2</sup>  $\cong$  7 g m<sup>-2</sup>
  - con superficie del suelo sellada (costra) esa cantidad de O<sub>2</sub> alcanzaría para 5 a 24 h; menos en un suelo muy compactado

# Disponibilidad de nutrientes

- **Suministro por el suelo**
  - no hay efectos directos de compactación en la concentración de nutrientes en solución del suelo
  - compactación severa → ↓ contenido de agua volumétrico → ↓ potencial de suministro de nutrientes
  - N
    - Baja disponibilidad de oxígeno
      - limita nitrificación
      - ↓  $\text{NO}_3^-$  por desnitrificación
  - cantidad total de nutrientes disponibles y su distribución durante el ciclo del cultivo son factores críticos

# Disponibilidad de nutrientes

- Toma por el cultivo
  - lento crecimiento de raíces → ↓ suministro de K y P
  - sistema radicular superficial → pérdida de nutrientes móviles
  - agrupamiento de raíces en zonas de menor compactación → ↓ suministro de nutrientes con baja movilidad (p. ej. P)
  - necesita oxígeno para respirar
    - efecto en  $K > NO_3^-$



diagnóstico

- Observaciones de campo
- Densidad aparente
- Resistencia a la penetración

# Observaciones de campo

- áreas con agua estancada – especialmente en huellas de maquinaria – después de lluvias o riegos





# Variabilidad en desarrollo



# Desarrollo de raíces



# Desarrollo de raíces



caña de azúcar



algodón

# Densidad aparente

- peso seco de suelo por unidad de volumen (gramos/cm<sup>3</sup>)
- depende de
  - contenido de materia orgánica
  - textura
  - densidad de los minerales
  - compactación



# Descripción de un procedimiento

- insertar 3 pulgadas en el suelo un cilindro metálico de 3 pulgadas de diámetro
- para medir precisamente el volumen del suelo, debe determinarse la profundidad exacta del anillo
  - haga cuatro mediciones (a espacios similares) de la altura del borde superior del anillo desde la superficie del suelo y calcule el promedio



- excave alrededor del anillo con una palita de jardinero
- levante el anillo usando la palita evitando pérdidas de suelo
- remueva el exceso de suelo de la muestra con un cuchillo de hoja ancha



- ponga la muestra en una bolsa plástica hermética y etiquétela
- determine el peso húmedo
- determine el contenido de humedad
  - Seque toda la muestra
  - Seque una sub-muestra
- cálculos

# ejemplo

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)
Muestra	Peso húmedo de la muestra con bolsa (g)	Peso de la bolsa (g)	Peso de taza (g)	Peso húmedo de submuestra con taza (g)	Peso húmedo de submuestra (g)	Peso seco de submuestra con taza (g)	Peso seco de la submuestra (g)	Contenido de agua del suelo (g/g)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )
#1	490	5	126	160	34	153	27	0.259	1.2

Contenido de agua del suelo

$$\frac{\text{peso del suelo húmedo} - \text{peso del suelo seco en horno}}{\text{peso de suelo seco en horno}} = \frac{34 \text{ g} - 27 \text{ g}}{27 \text{ g}} = 0.259 \text{ g/g}$$

- Volumen del cilindro de suelo

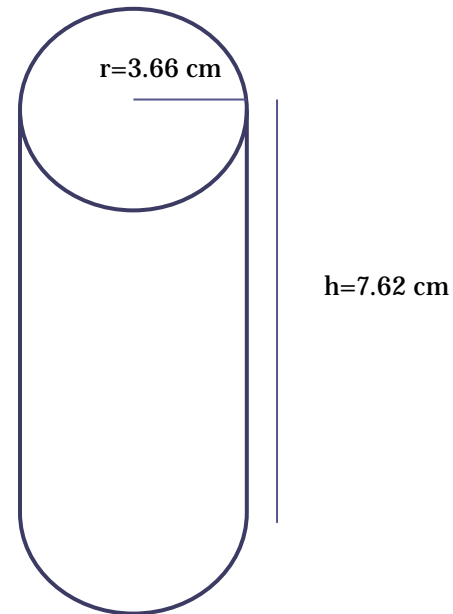
- $\pi r^2 \times h$
  - $3.14 \times (3.66)^2 \times 7.62 = 321 \text{ cm}^3$

- Peso seco del cilindro de suelo

- $\frac{\text{peso húmedo de la muestra con bolsa (g)} - \text{peso de la bolsa (g)}}{(1 + \text{contenido de agua del suelo (g/g)})}$

- $\frac{490 \text{ g} - 5 \text{ g}}{(1 + 0.259 \text{ g/g})} = 385 \text{ g}$

- Densidad aparente =  $\frac{385 \text{ g}}{321 \text{ cm}^3} = 1.20 \text{ g/cm}^3$



## Relación general entre la densidad aparente y el crecimiento de raíces basada en la textura del suelo

<b>Textura del suelo</b>	<b>Densidad aparente ideal para el crecimiento de las plantas (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad aparente que afecta al crecimiento de las raíces (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad aparente que restringe al crecimiento de las raíces (g/cm<sup>3</sup>)</b>
arenosa, arenosa franca	<1.60	1.69	>1.80
franco arenosa, franca	<1.40	1.63	>1.80
franco arcillo arenosa, franco arcillosa	<1.40	1.60	>1.75
limosa, franco limosa	<1.40	1.60	>1.75
franco limosa, franco arcillo limosa	<1.40	1.55	>1.65
arcillo arenosa, arcillo limosa, franco arcillosa	<1.10	1.49	>1.58
arcillosa (> 45% arcilla)	<1.10	1.39	>1.47

# Penetrabilidad

- con herramientas como machetes o navajas se pueden identificar zonas compactadas



# Penetrabilidad

- varillas de soldadura





# Penetrómetros

## Estáticos

- miden la fuerza requerida para empujar al instrumento en el suelo a una velocidad constante
  - índice de cono (*cone index*): fuerza requerida/área de la base del cono
    - varía con equipo (ángulo y tamaño del cono) y suelo (textura, humedad, compactación)
  - fuerza expresada comúnmente en kilopascales (kPa), Kg/cm<sup>2</sup> o PSI.
- 
- Desventajas
    - Caros
    - Dificultad en mantener una velocidad de penetración constante
    - Requieren frecuentes recalibraciones
  - Ventajas
    - Proveen perfiles de compactación
    - Procedimientos documentados







# Dinámicos

- Se basan en aplicaciones discretas de energía cinética para empujar al instrumento
  - Se deja caer un peso en una distancia constante
  - Se registra el número de golpes para que penetre una distancia dada o la distancia penetrada por golpe
  - Al inicio la base del cono se pone a nivel con la superficie del suelo
  - Se calcula la resistencia del suelo a cada nivel de profundidad

- Los dos tipos de penetrómetros miden diferentes parámetros: no se pueden comparar directamente
  - Estáticos: índice de cono (p. ej. kPa)
  - Dinámicos: resistencia a la penetración (energía por unidad de penetración (p. ej. Julios/cm)
- Mediciones deben hacerse a un mismo contenido de humedad en el suelo
  - capacidad de campo

# Valores límite de propiedades físicas de los suelos según las unidades texturales

Propiedad del suelo	Clase textural del suelo					
	Arcilla	Arcilloso	Franco	Franco arenoso	Arenoso franco	Arenoso
Resistencia al penetrómetro (MPa)	2.8 - 3.2	3.2 - 3.7	3.7 - 4.2	4.5 - 5.0	5.5	6
Rango de humedad (% por peso)	28 - 24	24 - 20	18 - 16	15 - 13	12	10
Porosidad (% por volumen)	< 48	< 47	< 45	< 42	< 40	< 38
Capacidad mínima de aire (% por volumen)	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10

# Valores de referencia

- Máximas presiones de crecimiento de raíces en dirección longitudinal 900 a 1,500 kPa
- Presión de aspersora de 30 libras/pulgada<sup>2</sup> = 207 kPa

manejo

prevención





## Disminuir intensidad de la labranza.

- **Labranza de conservación contribuye a evitar el desarrollo de capas compactadas en el perfil**
  - puede aparecer mayor compactación en los centímetros superiores del suelo
  - generalmente no se refleja en problemas de movimiento de agua y gases
    - mayor continuidad de los poros
- **Corregir compactación antes de comenzar con la labranza de conservación**

# Resultados de 14 años - El Batán

AC

conv

tratamiento	Resistencia a la penetración (MPa)		Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )	
	maíz	trigo	maíz	trigo
L. cero/mono/+ res	1.94	1.82	1.16	1.29
L. cero/rota/+ res	1.79	1.83	1.22	1.31
L. conv/mono/+ res	1.50	1.54	1.21	1.28
L. conv/rota/+ res	1.76	1.82	1.24	1.30
L. cero/mono/- res	2.83	2.76	1.11	1.15
L. cero/rota/- res	2.31	2.81	1.18	1.07
L. conv/mono/- res	1.66	1.79	1.12	1.08
L. conv/rota/- res	1.94	1.80	1.04	1.14
DMS (5%)	0.54	0.62	0.17	0.09

Resistencia promedio medida a intervalos de un cm hasta un máximo de 50 cm



# Rendimientos

maíz

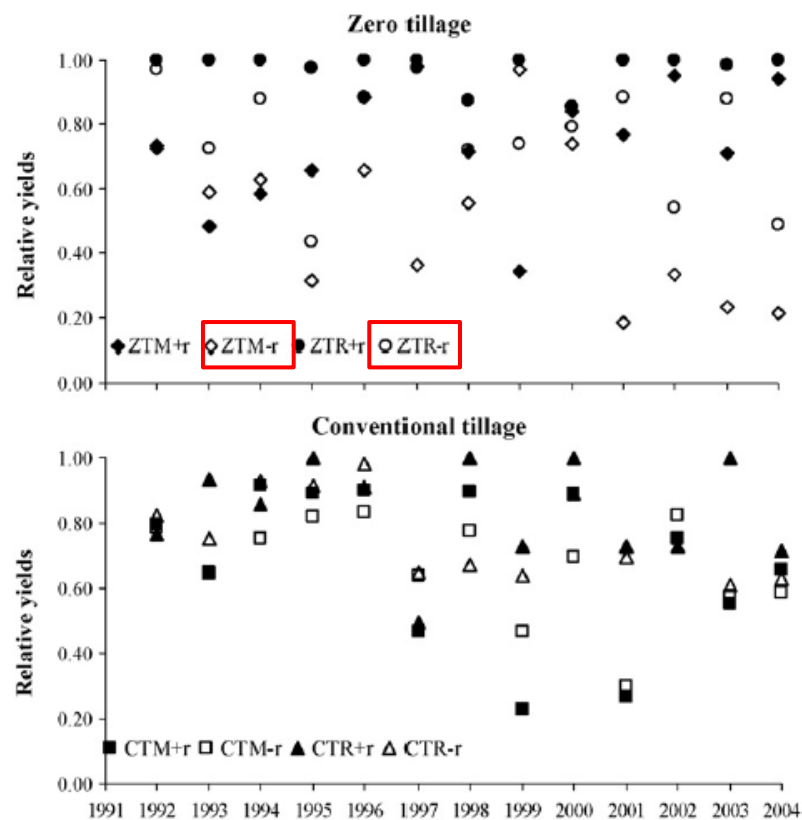


Fig. 3. Relative grain yields of maize from 1991 to 2004, in soils subjected to zero tillage (ZT) and conventional tillage (CT), rotation (R) and monoculture (M), with residues (+r) and without residues (-r).

trigo

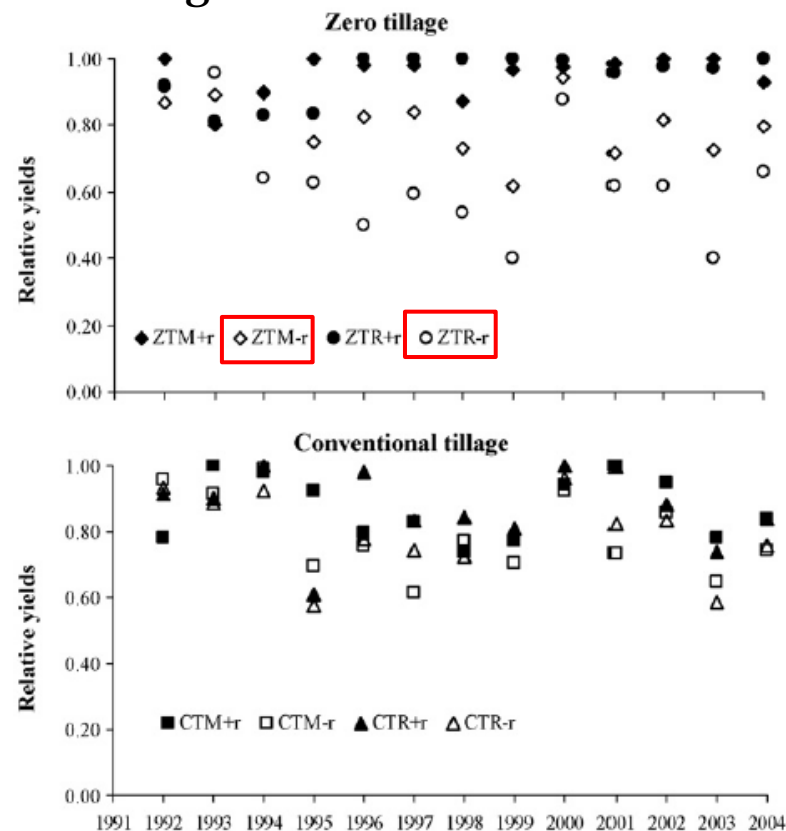


Fig. 4. Relative grain yields of wheat from 1991 to 2004, in soils subjected to zero tillage (ZT) and conventional tillage (CT), rotation (R) and monoculture (M), with residues (+r) and without residues (-r).

# Sistema de tráfico controlado y menor número de pasadas

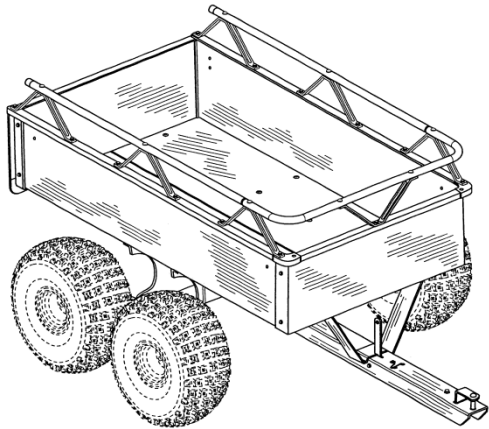
- Ventajas de pasar siempre en las mismas huellas:
  1. La mayor parte de la compactación es causada en la primera pasada de una rueda
    - Pasadas sucesivas en la misma huella no aumentan la compactación y la tracción es mejor
  2. Se compacta una parte mucho menor del terreno
- Un sistema de líneas de tráfico que se pueda usar en todas las operaciones requiere que todo el equipo en una finca tenga la misma distancia entre las ruedas
- El control del tráfico y la reducción al mínimo de las pasadas sobre el terreno son particularmente importantes en Agricultura de Conservación
  - no se quiere regenerar compactación
  - no se tiene el recurso de aflojar el suelo con la labranza

# No usar implementos de discos

- Los implementos de discos penetran los suelos principalmente en base a su peso
- Como el área de contacto con el suelo es muy pequeña se ejerce una presión muy alta lo cual conduce a compactación severa
- Los implementos de discos destruyen los agregados lo que agrava el problema

# Limitar uso de maquinaria pesada

- Pesos límites
  - 4-6 ton para eje sencillo
  - 8-10 ton para ejes tándem.



# Mejorar drenaje del suelo

- Nivelación
- Eliminar restricciones en el perfil

# Disminuir el patinaje de las ruedas

- Seleccionar los implementos de acuerdo al tamaño del tractor
- Si es posible, preferir tractores con tracción en las cuatro ruedas
- Preferir implementos de enganche a los tres puntos en comparación con los de tiro





# Presión de contacto sobre el suelo



- se puede medir a través de las libras/pulgada<sup>2</sup> (psi) aplicadas al suelo por la maquinaria
- determinada por
  - peso/eje y el área de las ruedas o traíllas en contacto con el suelo
  - mayor área de contacto puede reducir la compactación superficial

# Presión de inflado de las ruedas

- La presión de contacto sobre el suelo se puede controlar mediante la reducción de la presión de inflado de las ruedas
  - **regla general: presión de contacto sobre el suelo de las ruedas  $\cong$  presión de inflado + 1-2 libras**
    - ejemplo:
      - rueda inflada a 25 psi ejercerá 26 o 27 psi de presión sobre la superficie del suelo
      - rueda inflada a 15 psi sólo aplicará 16 o 17 psi de presión sobre el suelo
- Conviene consultar con mecánicos para evitar problemas posibles con los rines o cámaras cuando se usan presiones de inflado bajas
- Las llantas radiales toleran presiones de inflado mucho más bajas que las no radiales



**corrección**

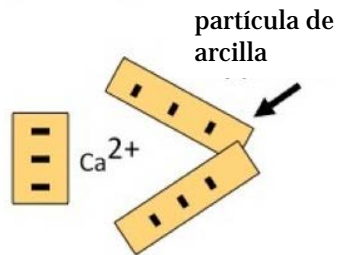


# costras

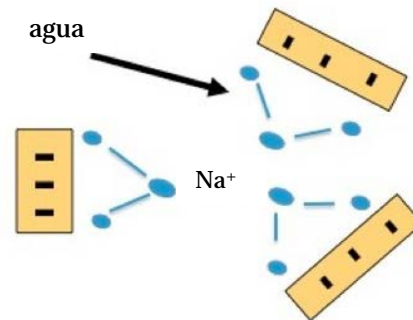
- ↑ agregación
  - ↑ materia orgánica
  - ↑ cationes flocculantes en solución
    - $\text{Ca}^{+2}$  (yeso)



floculado



disperso



www.gypsoil.com

# Manejo de costras

- residuos sobre el suelo

- cultivos



# Materia orgánica

- **Aportar materia orgánica**
  - **Agricultura de Conservación**
  - **cultivos de cobertura**
  - **estiércol o compostas**
  - **rotaciones con cultivos que producen abundantes residuos**
- **↓ densidad aparente**
- **↑ agregación**
- **↑ actividad biológica**

# Plantas que pueden romper capas compactadas



*Paspalum notatum*



frijol gandul



alfalfa

# lombrices

- Canales de su diámetro, 50 a 66% de su largo, por día
- $\text{pH} > 5.5$
- Abundante materia orgánica ( $> 4$  t/ha)





cal

**dosis que mejoran floculación y agregación son altas y pueden inducir deficiencias nutricionales por el aumento en el pH**

# Romper compactación mecánicamente

- **Compactación superficial (0-30 cm)**
- **Compactación profunda (> 30 cm)**

# Compactación superficial

- Arado de vertedera
  - implemento más eficiente para aflojar suelo entre 0 y 30 cm de profundidad
  - bajo requerimiento de tracción
  - el suelo es invertido
  - precaución con obstáculos (p. ej. piedras)



[www.koofers.com](http://www.koofers.com)



[kids.britannica.com](http://kids.britannica.com)

# Compactación superficial

- “rippers”
  - intermedios entre subsoladores y arados cincel
  - normalmente no penetran tanto como los subsoladores
  - espaciamiento entre cuerpos  $< 1.5$  veces la profundidad máxima de trabajo
    - Ejemplo:  
Profundidad máxima de trabajo = 45 cm  
Espaciamiento entre cuerpos no mayor a 67.5 cm (45 cm x 1.5)

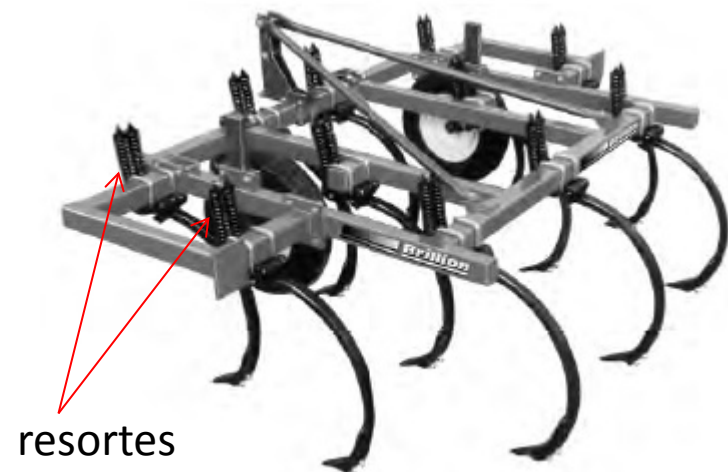


## Especificaciones

Ancho de cada cuerpo	3.2 cm
Penetración máxima	45 cm
Profundidad de trabajo	35 cm
Ancho de trabajo	1.85 m
Potencia mínima de tractor	75 HP

# Compactación superficial

- Arados cincel
  - construcción más liviana que los “rippers”
  - profundidad máxima de trabajo ~ 30 cm
  - cuerpo normalmente elásticos o con resortes



# Compactación superficial

- **Cultivadores**  
diseño de cinceles pequeños



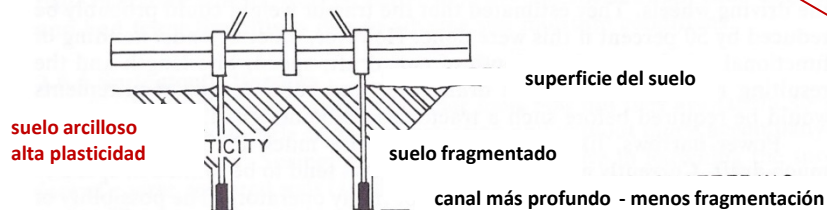
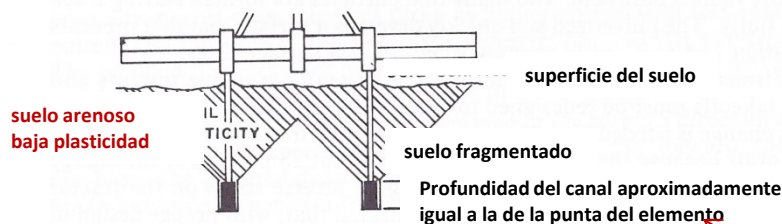
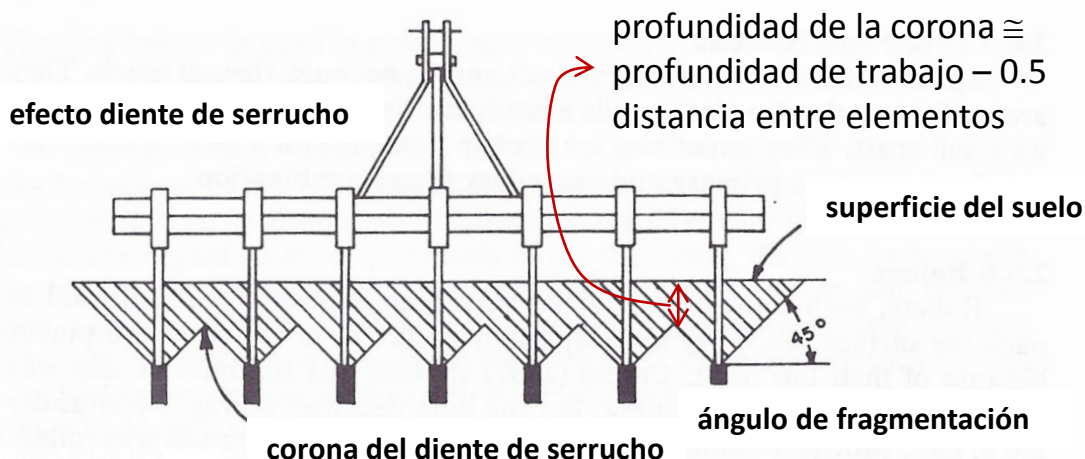
[www.everythingattachments.com](http://www.everythingattachments.com)

# Grado de aflojamiento del suelo

- **Espaciamiento entre cuerpos**
- **Profundidad de trabajo**
- **Tipo y ancho del elemento**
- **Condición del suelo**

# Acción de los implementos con puntas

- aflojan el suelo por impacto y fragmentación
- planos de fragmentación forman ángulo de  $45^\circ$  respecto a la horizontal
- efecto dientes de serrucho

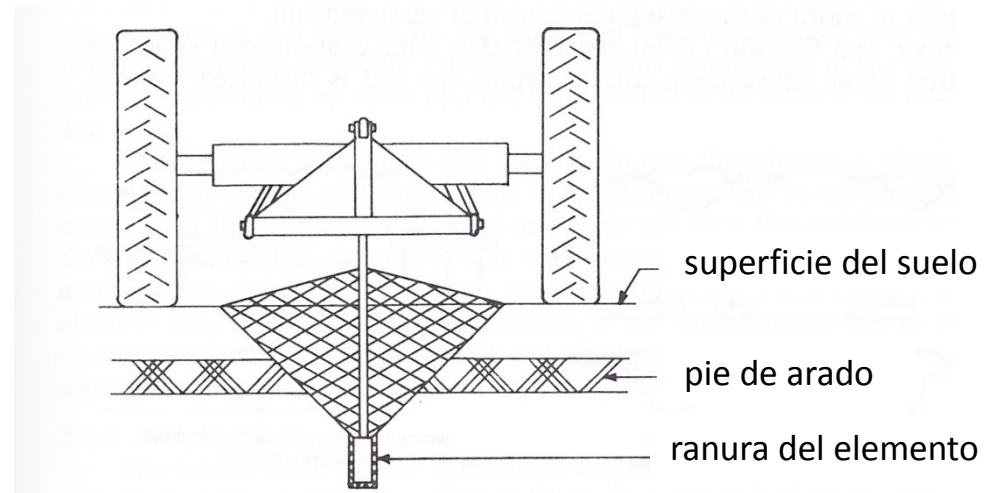


fragmentación depende de la textura



# Compactación profunda

- Subsoladores
  - altos requerimientos de energía
  - área de suelo aflojada en forma triangular



# subsoladores

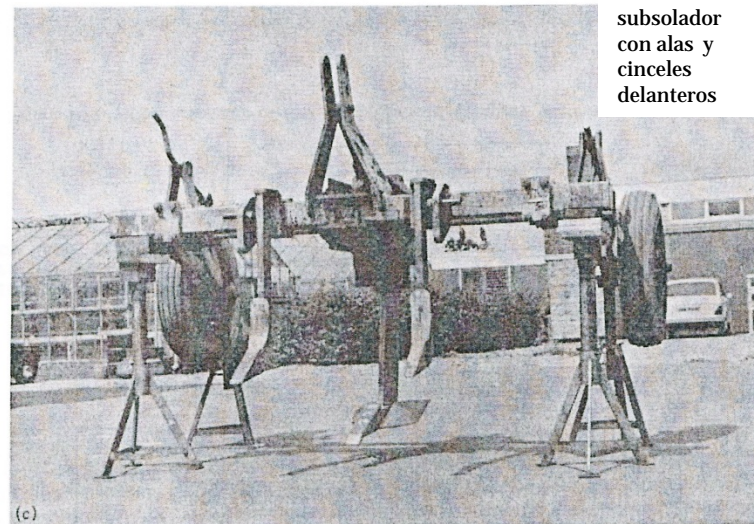
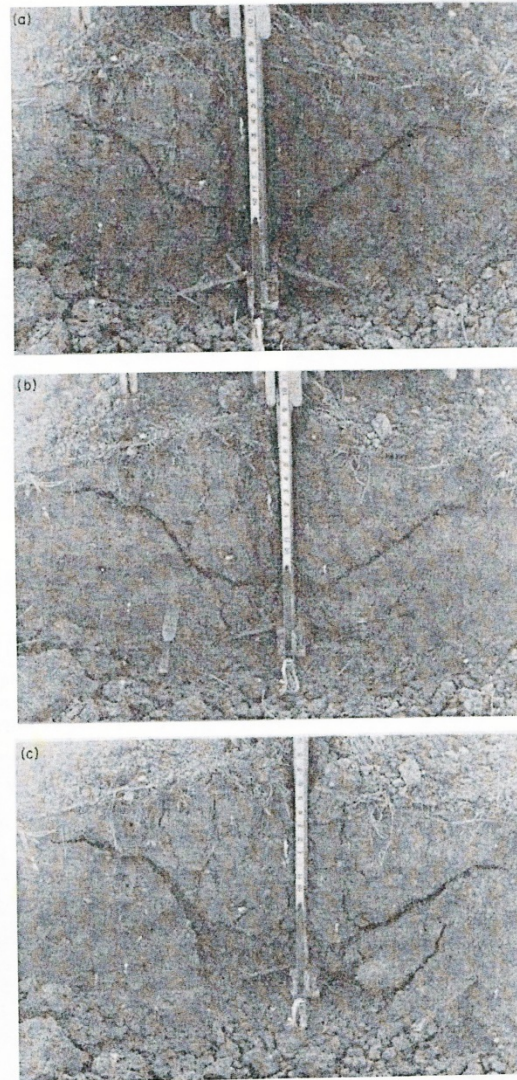


Fig. 6. (a) Conventional subsoiler and (b) winged subsoiler. (c) Winged subsoiler with shallow leading tines

# Patrón de alteración del suelo

subsolador con alas



*Fig. 5. Sequence of soil disturbance patterns from a winged subsoiler upon entry into a vertical soil face*

# Efecto del tipo de implemento y profundidad de trabajo en el patrón de alteración del suelo

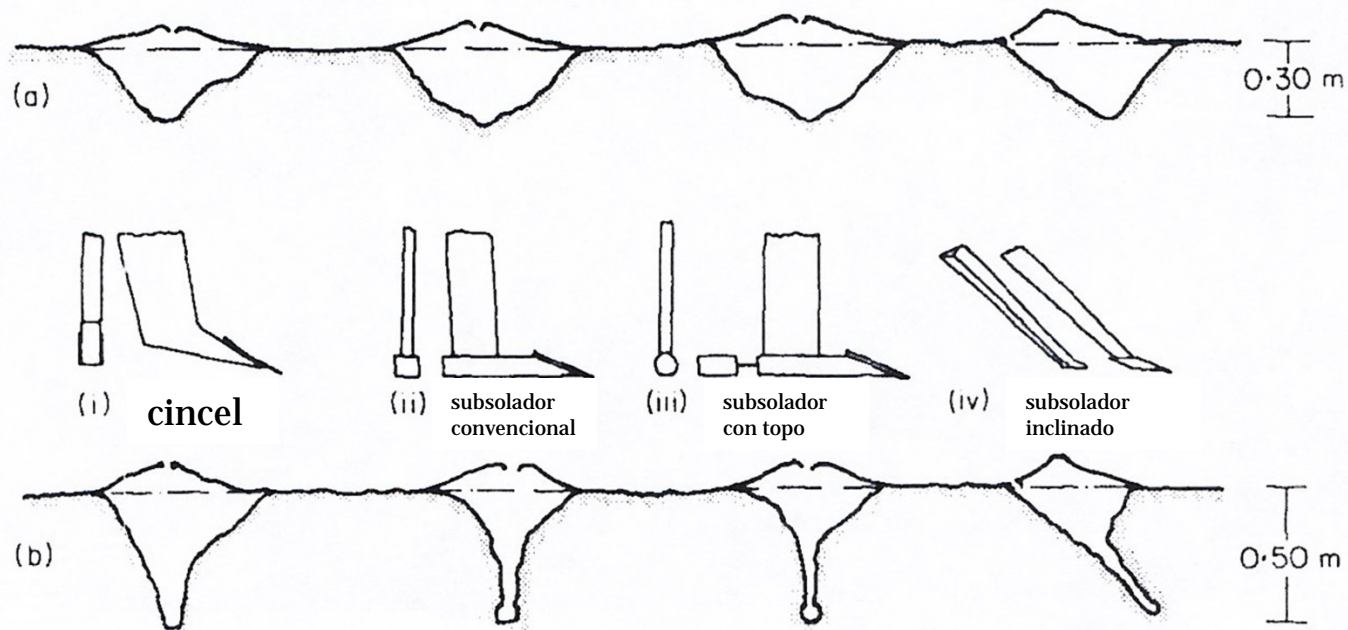
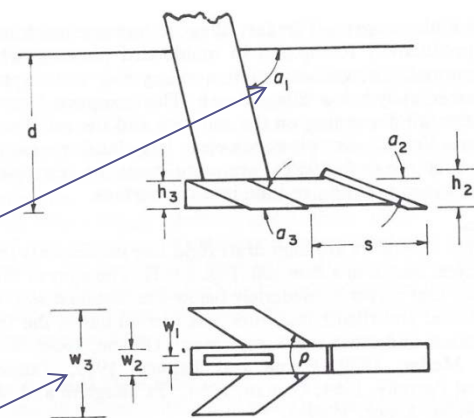


Fig. 2. Soil disturbance and implement shape

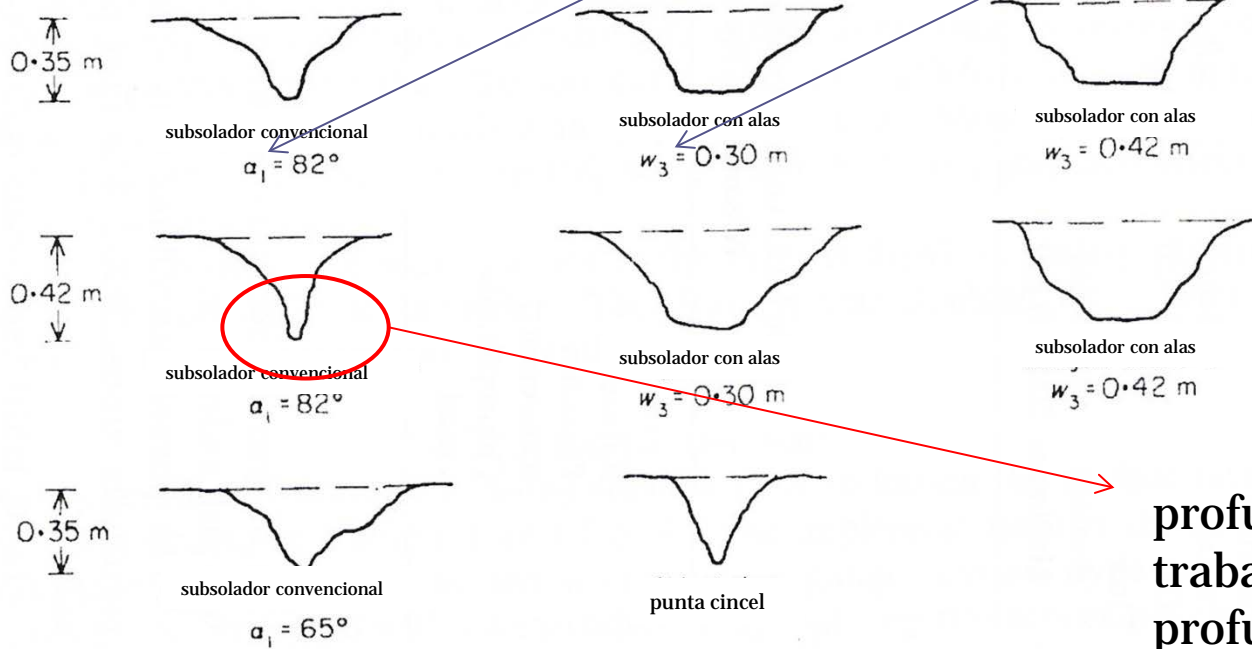
# Efecto del tipo de implemento, diseño, y profundidad de trabajo en el patrón de alteración del suelo



d profundidad de trabajo  
s posición del ala desde la punta  
h altura de elevación

w ancho  
a ángulo de la punta del elemento  
ρ ángulo de barrido

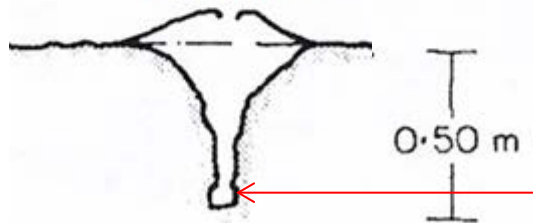
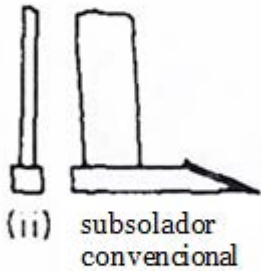
Subíndices: 1 vástago  
2 punta/pie  
3 ala



profundidad de trabajo > profundidad crítica

Fig. 8. Soil disturbance patterns

# Profundidad crítica



- La profundidad crítica varía con el diseño del subsolador, tipo y condiciones del suelo
  - Se deben hacer pasadas probando profundidades y excavar para ver el patrón de alteración
- 
- El peso del suelo excede la capacidad del subsolador
  - No se afloja bien al suelo
  - Se compacta a profundidad

# Efecto del tipo de implemento y su espaciamiento en el patrón de alteración del suelo

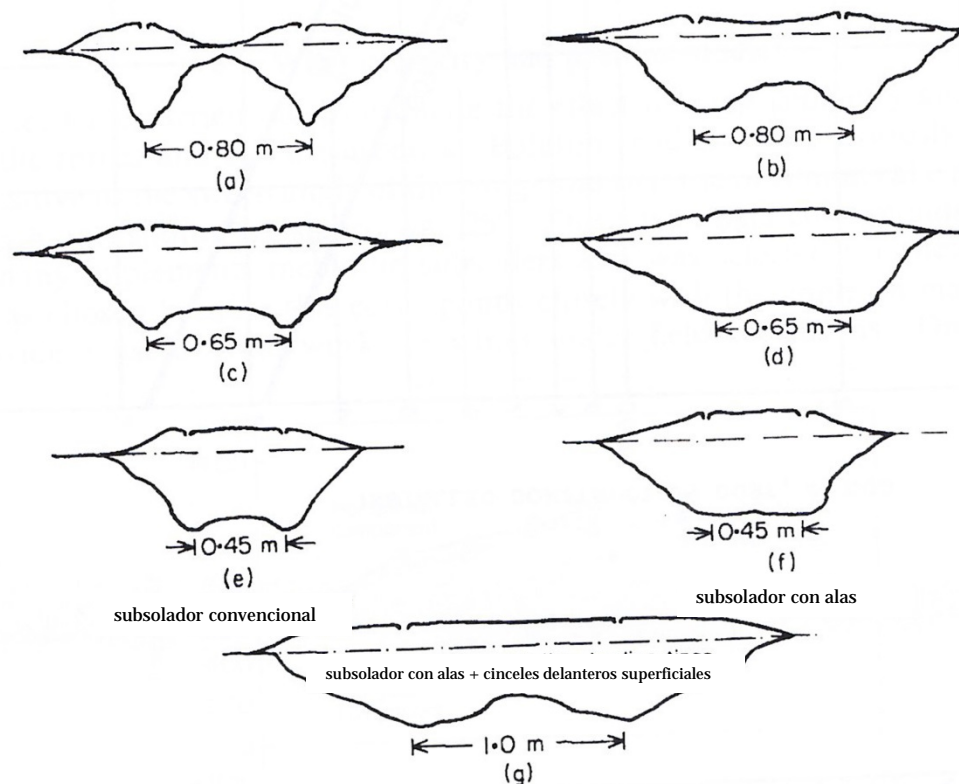
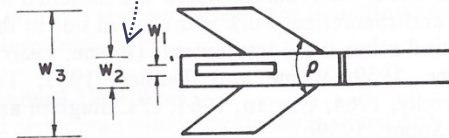
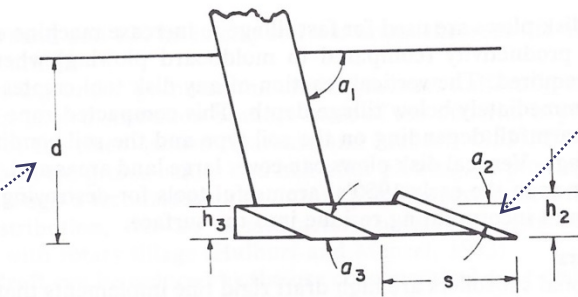


Fig. 11. Effect of the spacing between subsoiler tines on soil disturbance

# Pautas para la operación de subsoladores

- ángulo de la punta del elemento ( $a_2$ ) = 20-45°
- $\frac{\text{ancho de la punta del elemento } (w_2)}{\text{profundidad de trabajo } (d)} = 0.2$
- profundidad de trabajo  $\sim 1.5$  profundidad de suelo aflojada
- suelo seco y laborable
- volumen de suelo descompactado aumenta con:
  - Mayor ancho de la punta del elemento
  - Espaciamiento adecuado entre cuerpos o pasadas
  - Uso de alas



d profundidad de trabajo  
s posición del ala desde la punta  
h altura de elevación

w ancho  
a ángulo de la punta del elemento  
 $\rho$  ángulo de barrido

Subíndices: 1 vástago  
2 punta/pie  
3 ala



# En resumen

- **Compactación: proceso de degradación serio, propiciado por:**
  - **bajos contenidos de materia orgánica**
  - **dispersión de coloides**
  - **tráfico o laboreo en suelos húmedos**

# Referencias

Bowen, H.D. 1981. Alleviating mechanical impedance. En (G.F. Arkin y H.M. Taylor, Eds.) Modifying the root environment to reduce crop stress. ASAE Monograph 4. Cap. 2. pp. 21-57.

DeJong-Hughes, J., J.F. Montcrief, W.B. Voorhees, and J. B. Swan. 2001. Soil Compaction: Causes, effects, and control. University of Minnesota Extension.

Fuentes, M., B. Govaerts, F. De León, C. Hidalgo, L. Dendooven, K. D. Sayre, y J. Etchevers. 2009. Fourteen years of applying zero and conventional tillage, crop rotation and residue management systems and its effect on physical and chemical soil quality. European Journal of Agronomy, 30: 228-237

<http://www.balticdeal.eu/measure/maintaining-good-soil-structure/>

<http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/resources/soils/structure/compaction>

# Referencias (cont.)

<http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/resources/soils/structure/compaction>

[http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/components/7400\\_01.html#ways](http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/components/7400_01.html#ways)

<http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/dc3115.html>

[http://soils.usda.gov/sqi/publications/files/sq\\_nin\\_1.pdf](http://soils.usda.gov/sqi/publications/files/sq_nin_1.pdf)

<http://techalive.mtu.edu/meec/module06/Porosity.htm>

[http://vro.dpi.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/pages/soil\\_health\\_mis7898](http://vro.dpi.vic.gov.au/dpi/vro/vrosite.nsf/pages/soil_health_mis7898)

4

Soane, B.D. y C. van Ouwerkerk (Editors). 1994. Soil Compaction in Crop Production. Elsevier. 662 pp.

Spoor, G. y R.J. Godwin. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. J. agric. Engng. Res. 23: 243-258

