

# Consideraciones sobre la aplicación del efluente en la tierra

## Aspectos del suelo

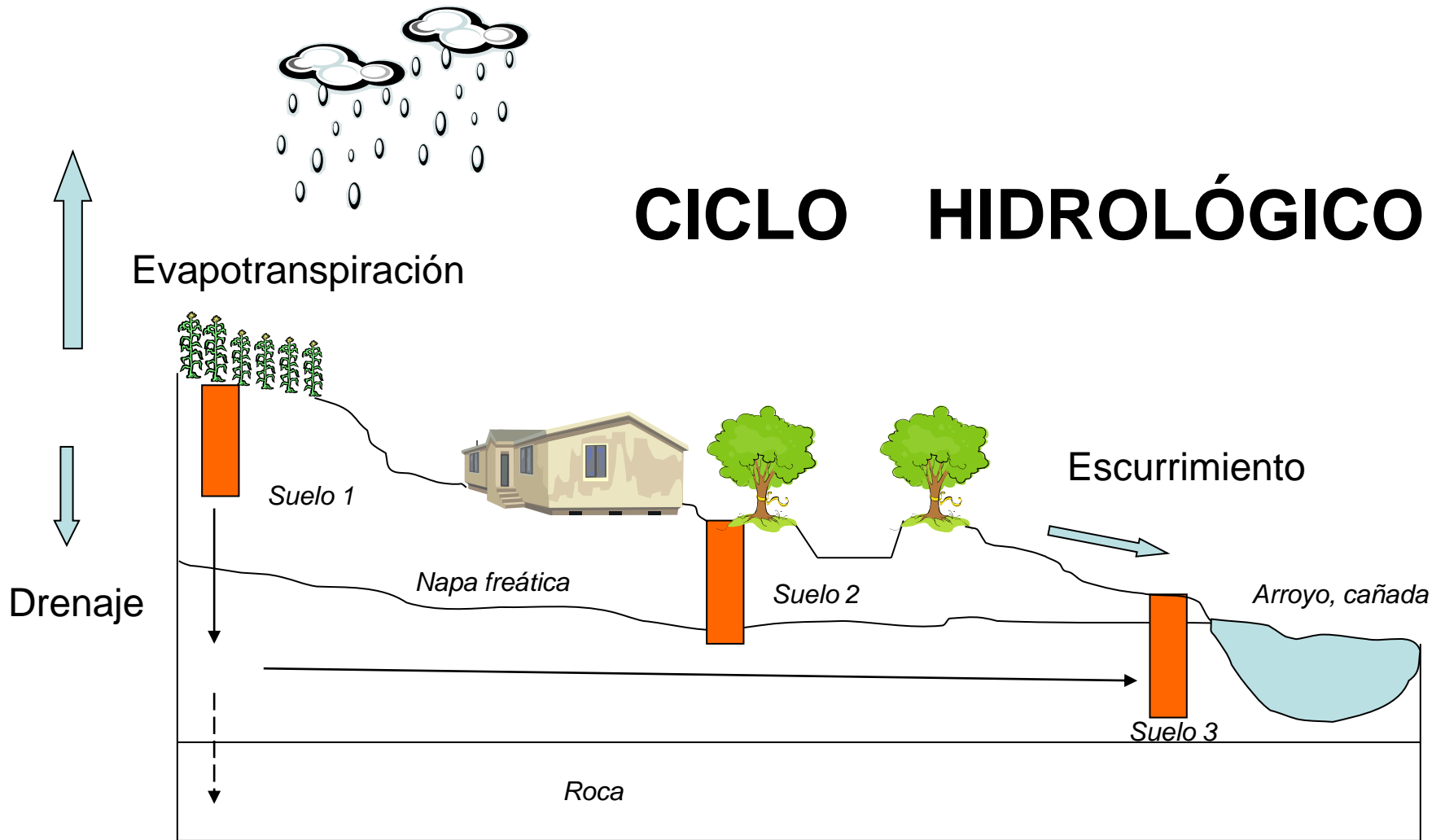
Mario Pérez Bidegain  
Profesor Agregado  
Departamento de Suelos y Aguas

- **Objetivos**

- presentar los conceptos relacionados al suelo y su manejo necesarios para una correcta toma de decisiones en el manejo de efluentes a nivel predial;
- presentar las fuentes de información disponibles, alcance y limitantes de las mismas;
- presentar las herramientas disponibles.

- Marco Conceptual
- Aspectos del Suelo
- Aspectos del Uso y Manejo del Suelo
- Algunas herramientas

# CICLO HIDROLÓGICO



# Aspectos del Suelo

- Sistema en el cual las tres fases de la materia están representadas por

Matriz del suelo (fase sólida)

Solución del suelo (fase líquida)

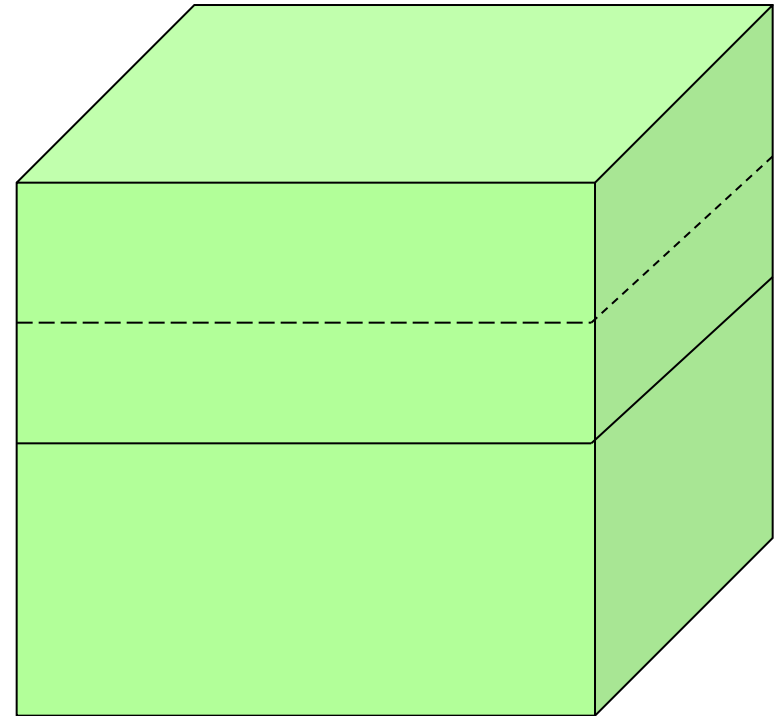
Atmósfera del suelo ( fase gaseosa)

# Composición del suelo

- En volumen

**Espacio poroso**  
≈20-30 % aire  
≈20-30 % agua

**Fase sólida**  
≈45 % minerales  
≈5 % materia orgánica



# Relaciones masa-volumen

- Densidad de los sólidos o densidad real

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s}$$

$\rho_s$  densidad de los sólidos

$M_s$  masa de los sólidos

$V_s$  volumen de los sólidos

# Relaciones masa-volumen

- Densidad aparente

$$\rho_a = \frac{M_s}{V_t}$$

$\rho_a$  densidad aparente

$M_s$  masa de los sólidos

$V_s$  volumen total ( agua, aire y sólidos)



# Relaciones masa-volumen

- Agua gravimétrica

$$w = \frac{M_w}{M_s}$$

$w$  agua gravimétrica

$M_s$  masa de sólidos

$M_w$  masa de agua

# Relaciones masa-volumen

- Agua volumétrica

$$\theta = \frac{V_w}{V_t}$$

$\theta$  contenido volumétrico de agua en el suelo

$V_w$  volumen de agua en el suelo

$V_t$  volumen total del suelo

# Relaciones masa-volumen

- Porosidad total

$$PT \text{ o } f = \frac{V_a + V_w}{V_t}$$

$PT$  o  $f$  porosidad del suelo

$V_a$  volumen de aire

$V_w$  volumen de agua

$V_t$  volumen total del suelo

# Relaciones masa-volumen

- Otras relaciones útiles

$$PT \text{ o } f = \frac{(\rho_s - \rho_b)}{\rho_s} = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s}$$

$PT$  o  $f$  porosidad total

$\rho_s$  densidad de sólidos del suelo

$\rho_b$  densidad aparente del suelo

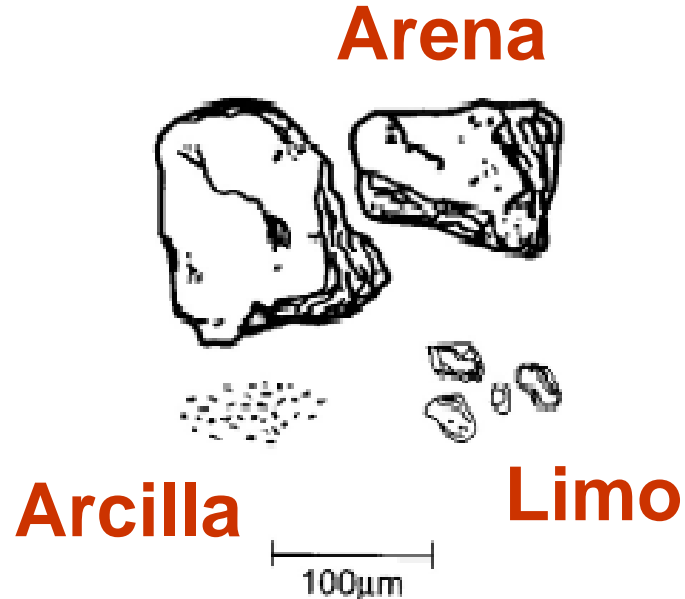
# Obtención de muestras imperturbadas



- Factores del suelo
  - Textura
  - Estructura
  - Capacidad de retener agua
  - Conductividad hidráulica
  - Diferenciación textural
  - Posición en el paisaje

- Textura

– Proporción en peso de las fracciones:



- El material mineral del suelo tiene una composición variable, que depende del material geológico que le dio origen (Material Madre).
- El tamaño de las partículas minerales puede entrar dentro de 3 grandes categorías: Arena (2-0,02 mm), Limo (0,02-0,002mm) y Arcilla (<0,002mm).
- La fracción Arena está conformada por minerales primarios, que formaban parte de las rocas originales (cuarzo, feldespatos, micas, anfíboles, piroxenos, etc.) y que no han llegado a ser alterados en contacto con las condiciones ambientales de la superficie terrestre.



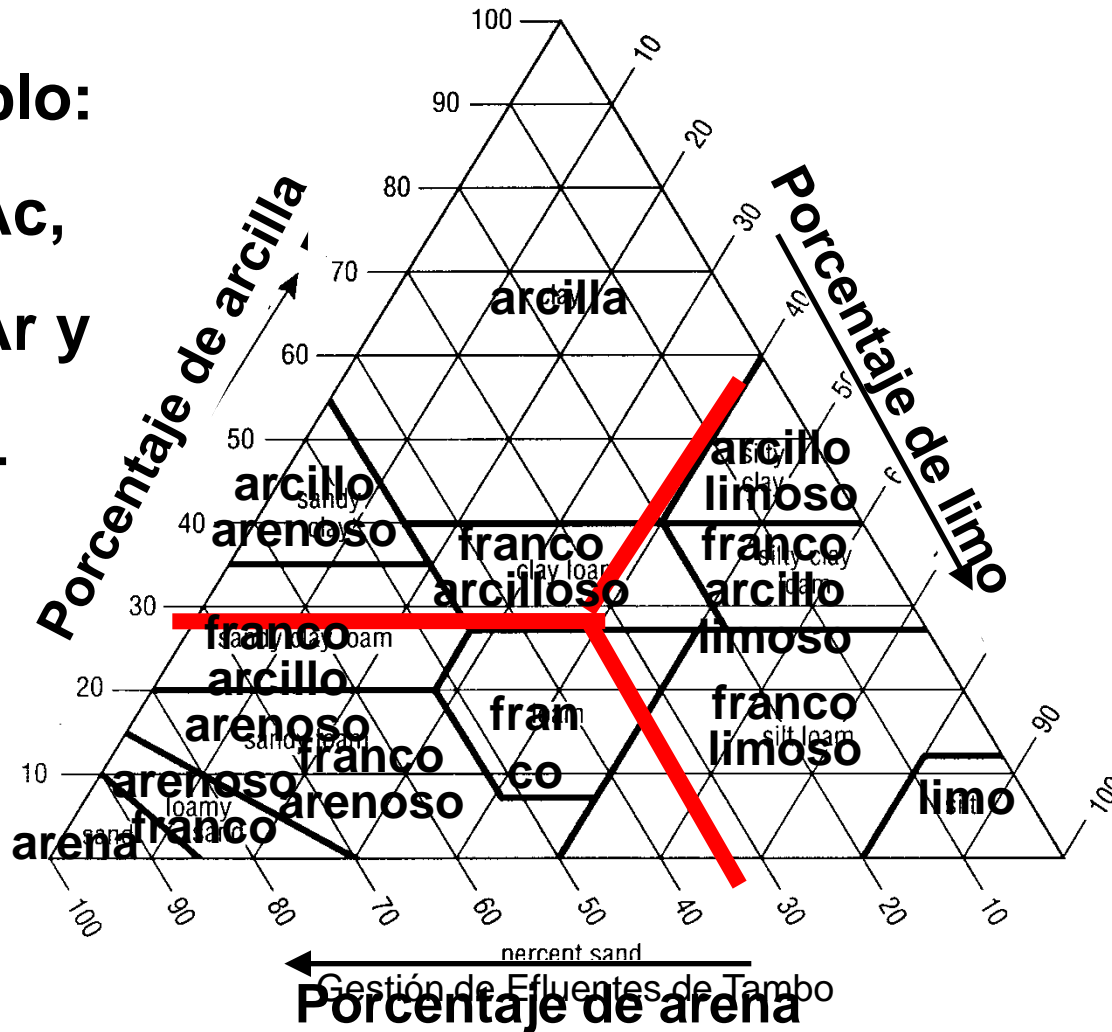
- La fracción Arcilla, está constituida principalmente por minerales secundarios, producto de la alteración en superficie de los minerales primarios (min. Arcillosos, óxidos e hidróxidos de Fe y Al).
- La fracción Limo tiene composición intermedia.

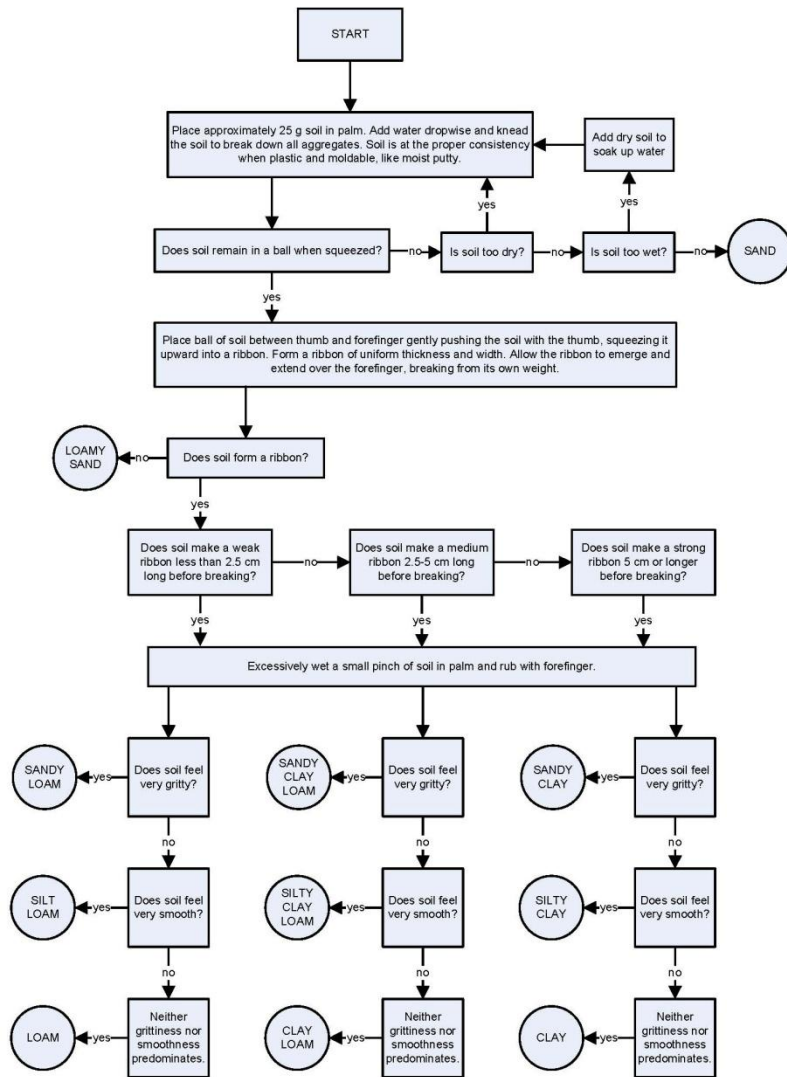
**Ejemplo:**

**30% Ac,**

**30% Ar y**

**40% L**





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

[http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2\\_054311](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/edu/?cid=nrcs142p2_054311)

- Estructura

- Es el arreglo de las partículas primarias (Arena, Limo y Arcilla) formando agregados, o partículas secundarias, o unidades estructurales (peds).

FIGURE 3-26



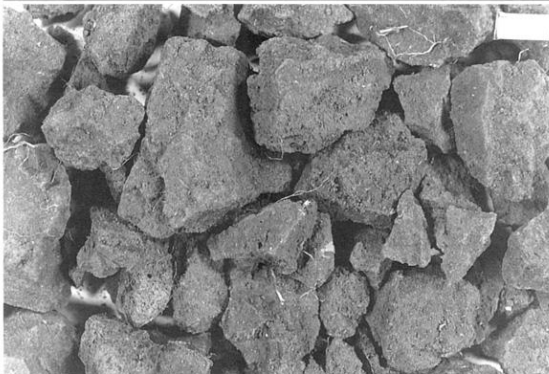
Strong thin platy structure.

FIGURE 3-28



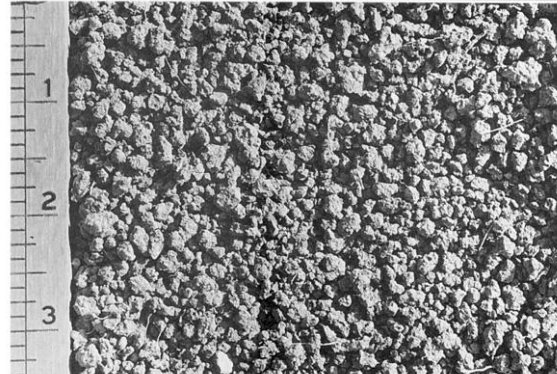
A cluster of strong medium columnar peds. The cluster is about 135 mm across.

FIGURE 3-29



Strong medium and coarse blocky peds.

FIGURE 3-30



Strong fine and medium granular peds.



## TIPO DE ESTRUCTURA:

Grano simple // Masivo

Laminar

Columnar

Prismática

Bloques angulares

Bloques subangulares

Granular

**PEORES**

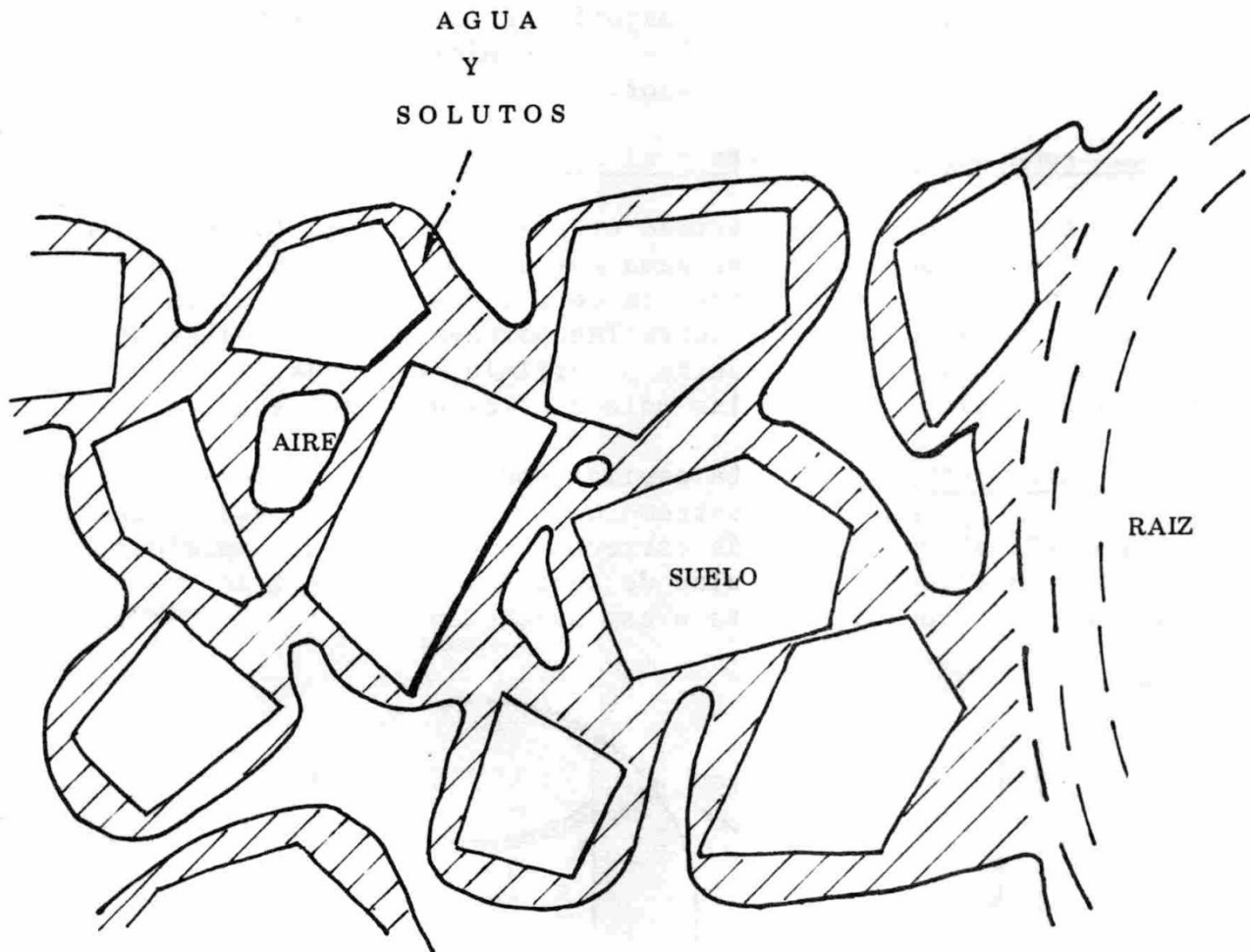
PROP. FÍSICAS EN GRAL.

(**excepto texturas arenosas**).

**MEJORES**

PROP. FÍSICAS EN GRAL.







- Otra definición

Es el arreglo y rigidez del sistema poroso del suelo

# Agua y suelo en equilibrio

- Energía

- Energía potencial

Se debe a la posición o condición interna

# Agua y suelo en equilibrio

- Energía potencial total

$$\psi_T = \psi_m + \psi_s + \psi_p + \psi_z$$

$\psi_T$  energía potencial total

$\psi_m$  potencial de matriz

$\psi_s$  potencial osmótico

$\psi_p$  presión hidrostática

$\psi_z$  potencial gravitacional

# Agua y suelo en equilibrio

Unidades	Símbolo	Nombre	Dimensiones	SI
E/masa	$\mu$	Pot. químico	$L^2.t^{-2}$	$J.kg^{-1}$
E/vol.	$\psi$	Pot de agua, succión, o tensión	$M.(L.t^2)^{-1}$	$N.m^{-2}(Pa)$
E/peso	h	Presión	L	m

# Agua y suelo en equilibrio

- Equivalencia entre las distintas expresiones

$$\mu = \frac{\psi}{\rho_w} = gh$$

$\rho_w$  densidad del agua

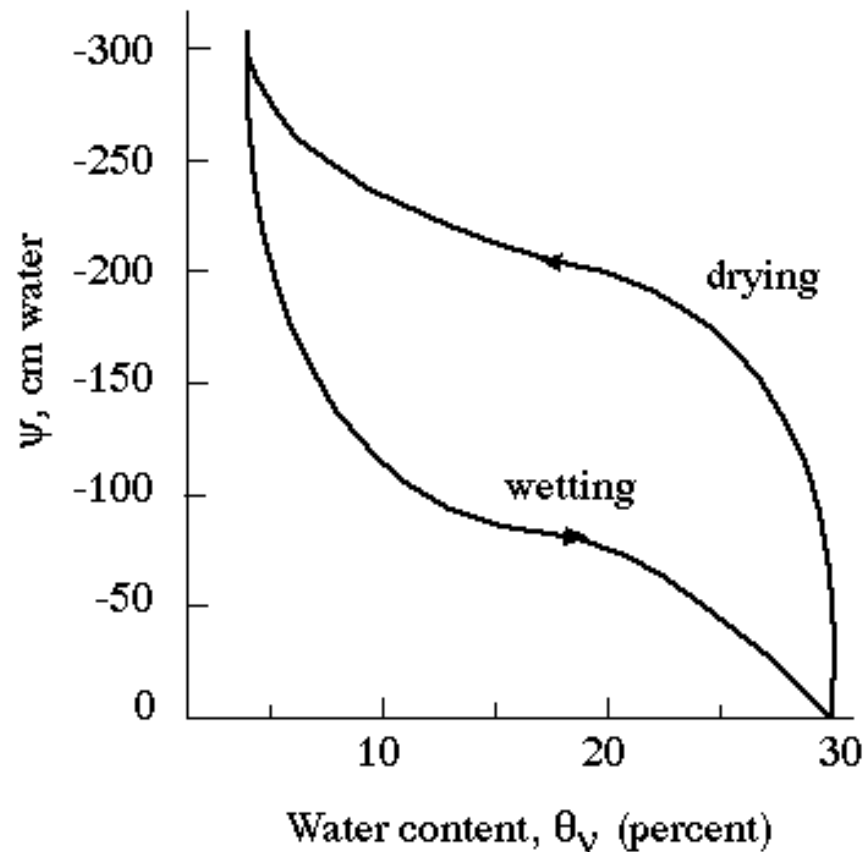
$g$  aceleración gravitacional

# Agua y suelo en equilibrio

- Relación cantidad de agua en el suelo-energía
  - $w$  vs.  $\psi_m$
  - $\Theta$  vs.  $\psi_m$

# Agua y suelo en equilibrio

- Histéresis



- Capacidad de retener agua (CRA)
  - Capacidad de campo (CC)
  - Punto de marchitez permanente (PMP)
  - $CRA = CC - PMP$



# Agua y suelo en equilibrio

Capacidad de retener agua en forma disponible

Textura	Agua disponible (%)
Franco arenoso	5
Franco	10
Franco limoso	15-20
Franco arcillo limoso	20-25
Arcillo limoso	20-25
Arcilloso	15-20



- Como estimar la CRA de los suelos?
- *Aspectos metodológicos en la determinación de la capacidad de retener agua de los suelos del Uruguay. Silva et al. 1988 Bol.Invest.No. 10 Fac de Agronomía*

- Como estimar la CRA de los suelos?

$$CC (A) = 21.977 - 0.681(AR\%) + 2.601(MO\%) + 0.127(AC\%)$$

$$CC (A \text{ arenosos}) = 8,658 + 2,571 (MO\%) + 0,296 (L\%)$$

$$PMP (A+B) = -4.671 + 0.498(AC\%) + 1.291(MO\%)$$

CC= Capacidad de campo a 10KPa, % en peso

PMP= Punto de marchitez permanente a 1500KPa, % en peso

- Conductividad hidráulica (permeabilidad)
  - Es la habilidad del suelo de transmitir agua
  - Unidades:  $\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$

Unidad	Suelo	Horizonte	
		cm/h	
		A	B
Tala-Rodríguez <sup>(1,2)</sup>	Vertisol	2.82	0.13
	Rúptico Típico	0.14	0.00
	Brunosol	0.18	0.09
	Subéutrico Típico	1.09	0.08
	Argisol Eutrico Melánico Abrúptico	0.03	0.00
	Brunosol Subéutrico Típico	1.09	0.08
	Argisol Eutrico Melánico Abrúptico	0.03	0.00
Ecilda Paullier-Las Brujas <sup>(2)</sup>	Brunosol Eutrico Típico	6.96	0.16
Chapicuy <sup>(2)</sup>	Brunosol Subéutrico Típico	6.98	0.00
	Planosol Dístrico Ócrico Típico	2.36	0.13
Toledo <sup>(2)</sup>	Argisol Subéutrico Ócrico Abrúptico	2.78	0.42
La Carolina <sup>(3)</sup>	Vertisol Rúptico Típico	2.98 6.78	0.00 (A <sub>13</sub> )

(1) Ponce de León y Capurro (1980)

(2) Terzaghi y Sganga (1998)

(3) Ponce de León (1980)

- **Diferenciación textural**
  - Es la variación del contenido de arcilla en profundidad





- Posición en el paisaje
  - Génesis
  - Distancia a la napa freática
  - Inundable SI/NO

- El manejo afecta:
  - Estructura
  - Infiltración
  - Compactación
  - Erosión



- **Infiltración**

- Es el ingreso del agua al suelo desde la superficie



Laboreo convencional



8 años de S.Directa

# Definiciones

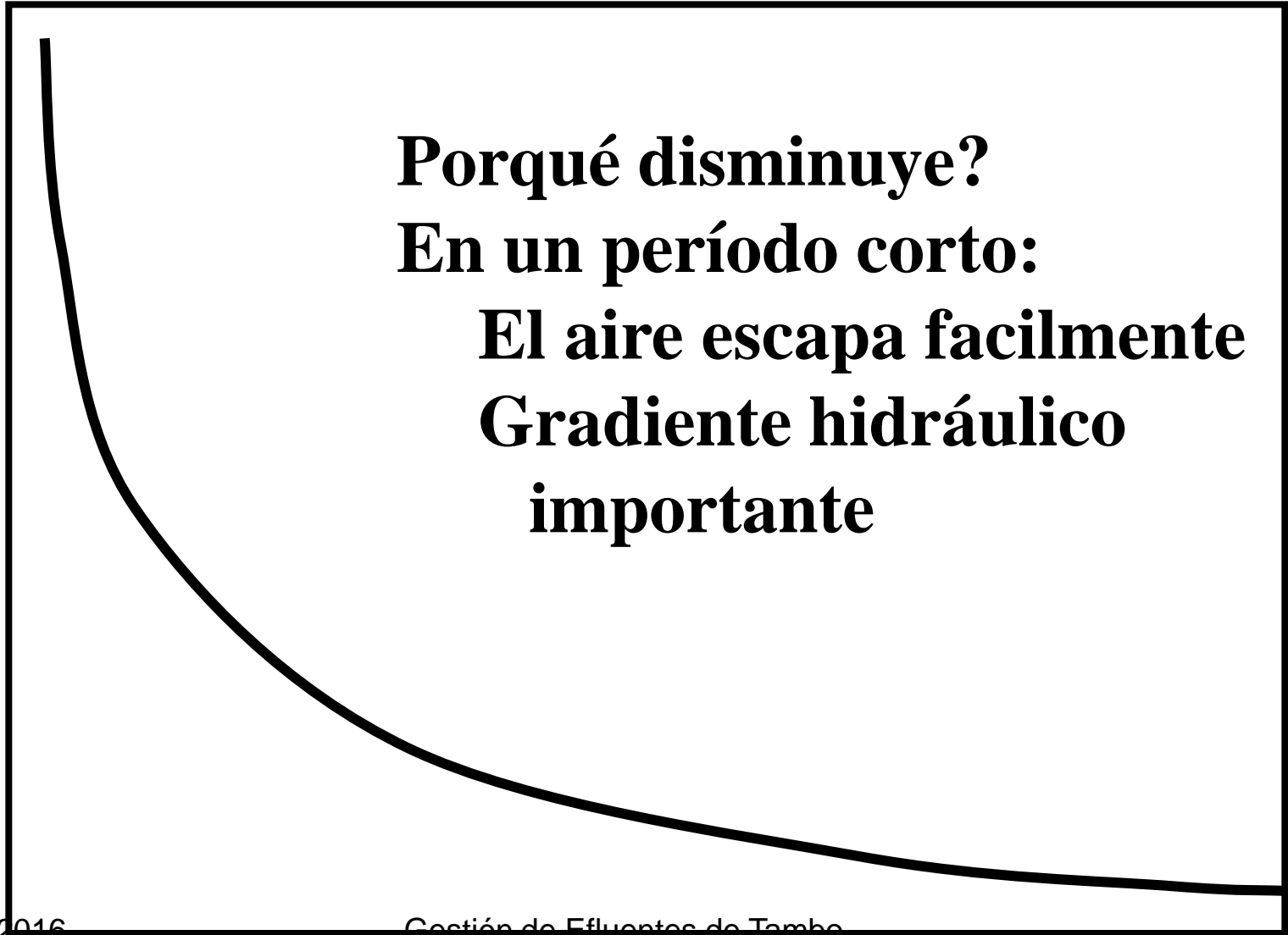
- Infiltración
- Entrada de agua al suelo desde la superficie

# Propiedades del suelo que afectan infiltración

- Textura, distribución de tamaño de poros
- Conductividad hidráulica
- Estructura
- Contenido de agua antecedente
- Características de la superficie
- Horizontes

# Infiltración

Tasa de infiltración  $i(t)$ , cm/hr





# Infiltración

- No puede exceder la intensidad de lluvia
- La tasa de infiltración puede estar limitada por la ***intensidad de lluvia***, o ***por el suelo***
- Cuando  $t$  tiende a infinito, la tasa de infiltración ( $i$ ) tiende a  $K_{sat}$ .

# Infiltración



$$q \approx K_{\text{campo}}$$

# Grupos Hidrológicos

- Dada la dificultad de evaluar infiltración el SCS (Mockus, 1972) divide los suelos en 4 grupos hidrológicos
- Factores sobre lo cual se basa la clasificación
  - Infiltración y transmisión de agua bajo suelo saturado
  - (suelo no está congelado)

# Grupos Hidrológicos

- Factores sobre lo cual se basa la clasificación
  - Suelo desnudo
  - Arcillas expandidas
  - No toma en cuenta la pendiente

# Grupos Hidrológicos

Grupo A. (Bajo potencial de escurrimiento). Suelos con velocidad de infiltración relativamente alta cuando están completamente mojados y que consisten principalmente de arenas o gravas profundas, bien a excesivamente drenadas. Estos suelos poseen una alta velocidad de transmisión del agua.

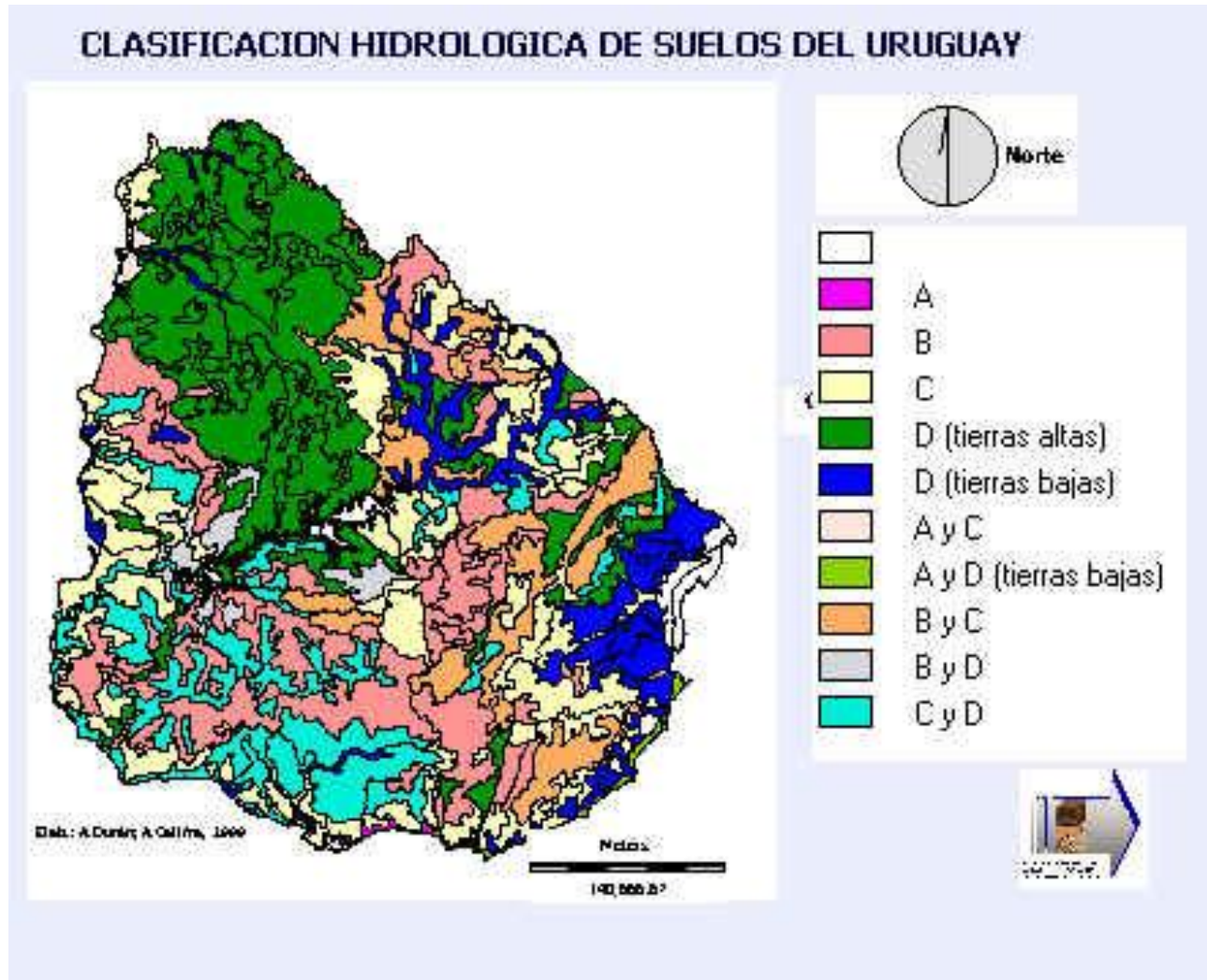
Grupo B. Suelos con velocidad de infiltración moderada cuando están completamente mojados. Estos suelos son principalmente profundos a moderadamente profundos, de drenaje moderadamente bueno a bueno y de texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos poseen una velocidad de transmisión del agua moderada.

# Grupos Hidrológicos

Grupo C. Suelos con velocidad de infiltración lenta cuando están completamente mojados. Estos suelos tienen generalmente una capa que impide el movimiento descendente del agua o son suelos de texturas moderadamente finas a finas. Estos suelos poseen una velocidad de transmisión del agua lenta.

Grupo D. (Alto potencial de escurrimiento). Suelos con velocidad de infiltración muy lenta cuando están completamente mojados. Son generalmente arcillas con alto potencial de expansión, suelos con una napa freática alta permanente, suelos con un *argipan* o una capa de arcilla en o cerca de la superficie o suelos superficiales sobre material casi impermeable. Estos suelos poseen una velocidad de transmisión del agua muy lenta.

# Grupos Hidrológicos



- Compactación

- Es la pérdida de espacio poroso del suelo





- Erosión

- *Desprendimiento* de las partículas del suelo

- *Transporte* de las partículas

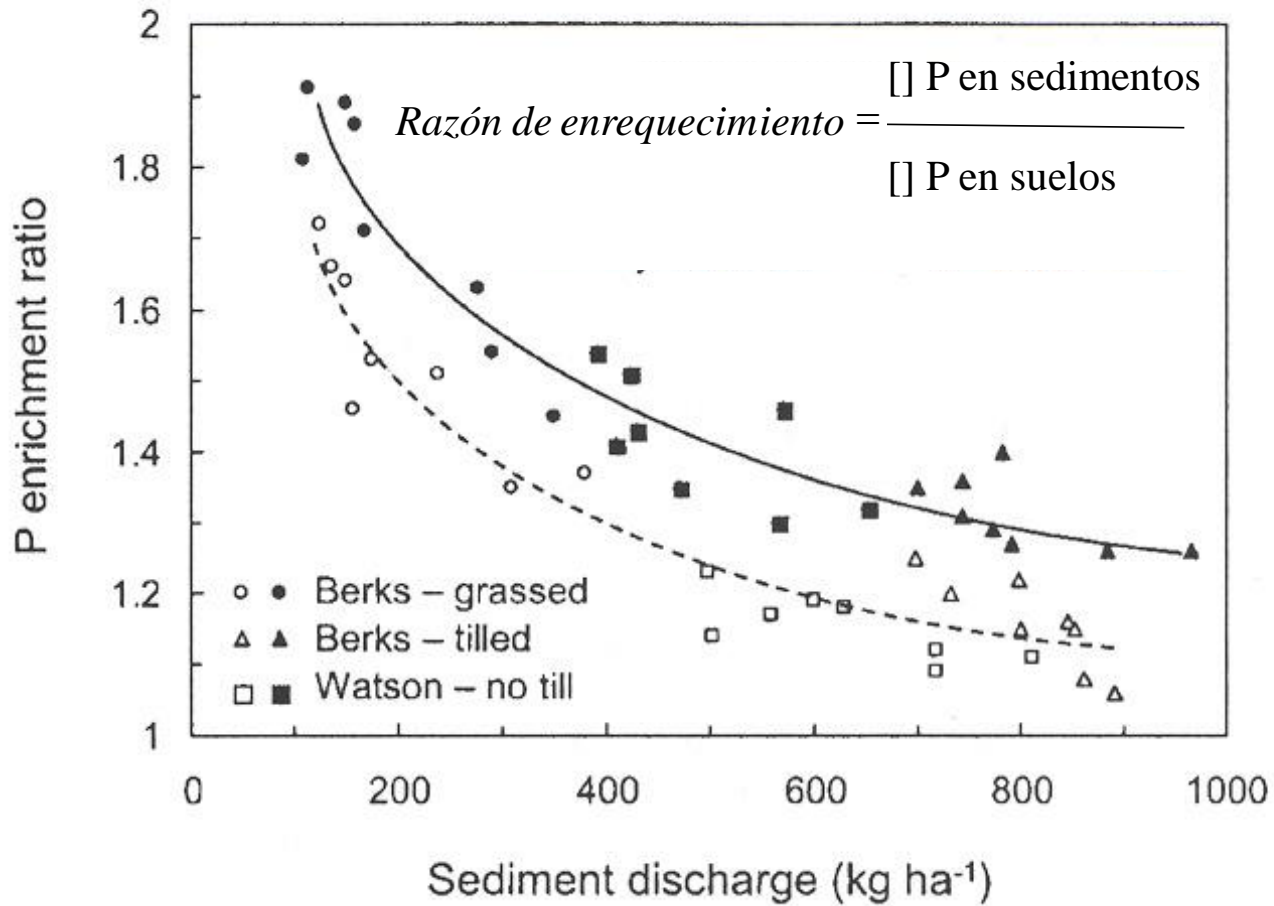
- *Depósito* de la partículas



23/04/2016

Gestión de Efluentes de Tambo  
<http://photogallery.nrcs.usda.gov/Using.htm>

59



# Aspectos del Uso y Manejo del Suelo

- Momento de la aplicación
- Conocer el producto a ser aplicado
- Método de aplicación
- Criterio de fertilización (análisis de suelo, cultivo)
- Laboreo
- Calibración del equipo

- Momento de la aplicación
  - Cultivo (Estado fisiológico, necesidades)
  - Suelo (Contenido de agua)
  - Momento del año

- Conocer el producto a ser aplicado
  - Especie y edad del animal
  - Alimentación
  - Recolección, método de almacenaje y tratamiento



- Método de aplicación
  - Al voleo
  - Inyectado
  - Incorporado

Método	Ventajas	Desventajas
Inyección	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Reduce olor</li> <li>•Reduce escurrimiento de nutrientes</li> <li>•Nutrientes cerca de las raíces</li> <li>•Conserva los nutrientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Más potencia y consumo de energía</li> <li>•Retraso por condiciones del suelo</li> <li>•Distribución homogénea puede ser un problema</li> <li>•Incremento del riesgo de erosión</li> </ul>







Método	Ventajas	Desventajas
Al voleo e incorporado	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aplicación rápida</li> <li>•Conserva más los nutrientes que la no incorporación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Incremento de olores</li> <li>•Dos pasadas</li> <li>•Incremento del riesgo de volatilización (lapso aplicación-incorporación)</li> <li>•Incremento del riesgo de erosión</li> </ul>



Métodos	Ventajas	Desventajas
Al voleo sin incorporación	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aplicación rápida</li> <li>•Reduce disturbio del suelo</li> <li>•Altas dosis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Incremento de olores</li> <li>•Incremento de pérdidas por escurrimiento</li> </ul>
Riego	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Agua + nutrientes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Incremento de olores</li> <li>•Equipos esp.</li> <li>•Costos de energía</li> <li>•Inc. pérdidas por escurrimiento</li> </ul>



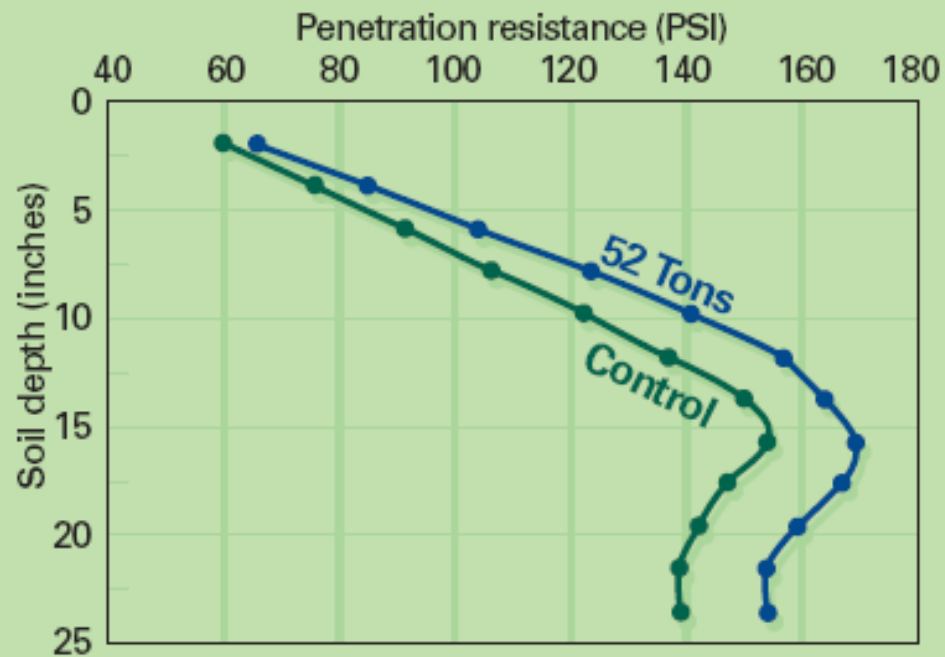
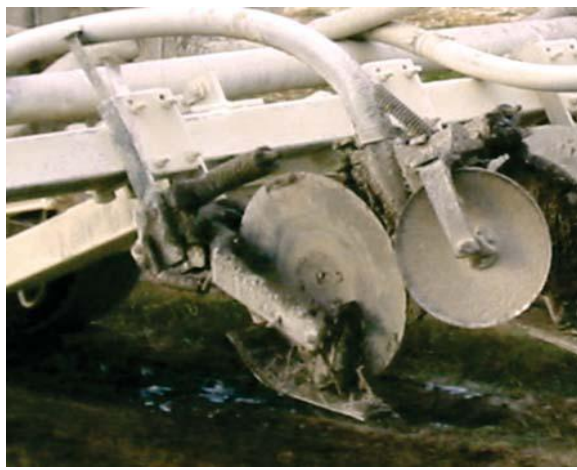


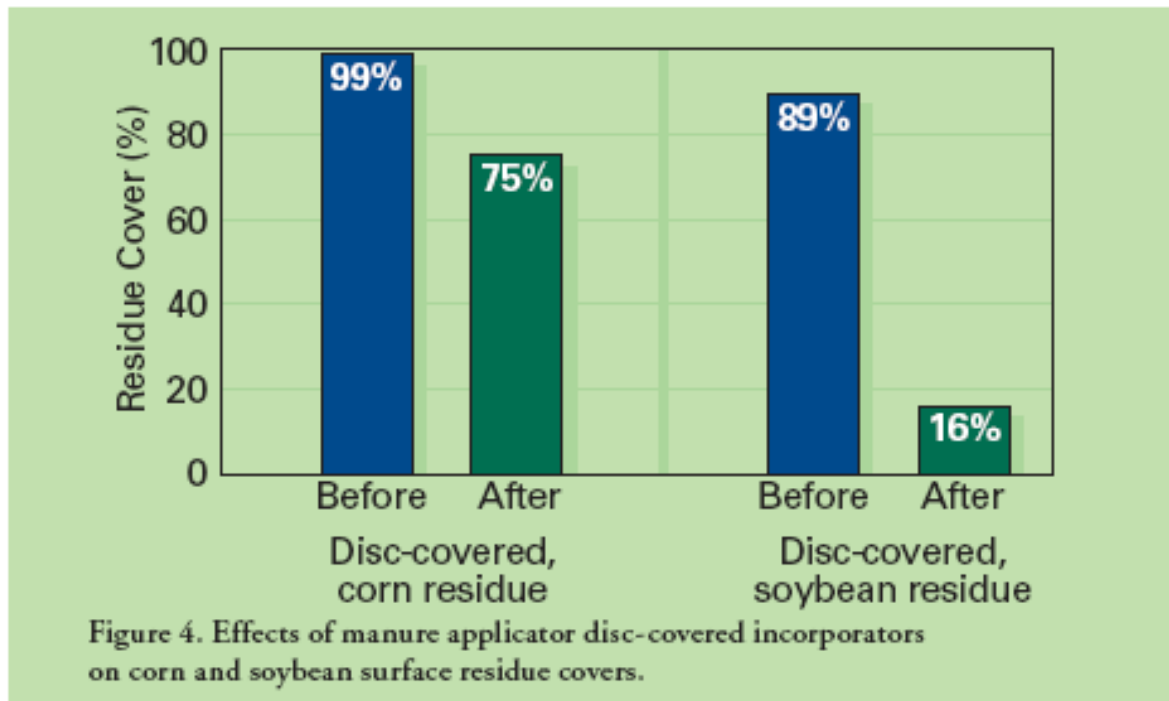
Figure 7. Soil penetration resistance after manure application. The control received no manure application and the 52 tons represents manure application using a manure applicator with an estimated weight of 52 tons across 4 axles.

- Criterio de fertilización
  - Análisis de suelo
  - Análisis de planta
  - Suelo
  - Cultivo

- Laboreo



- Laboreo



<http://extension.agron.iastate.edu/soilmgmt/PubsISU.html>

- Laboreo

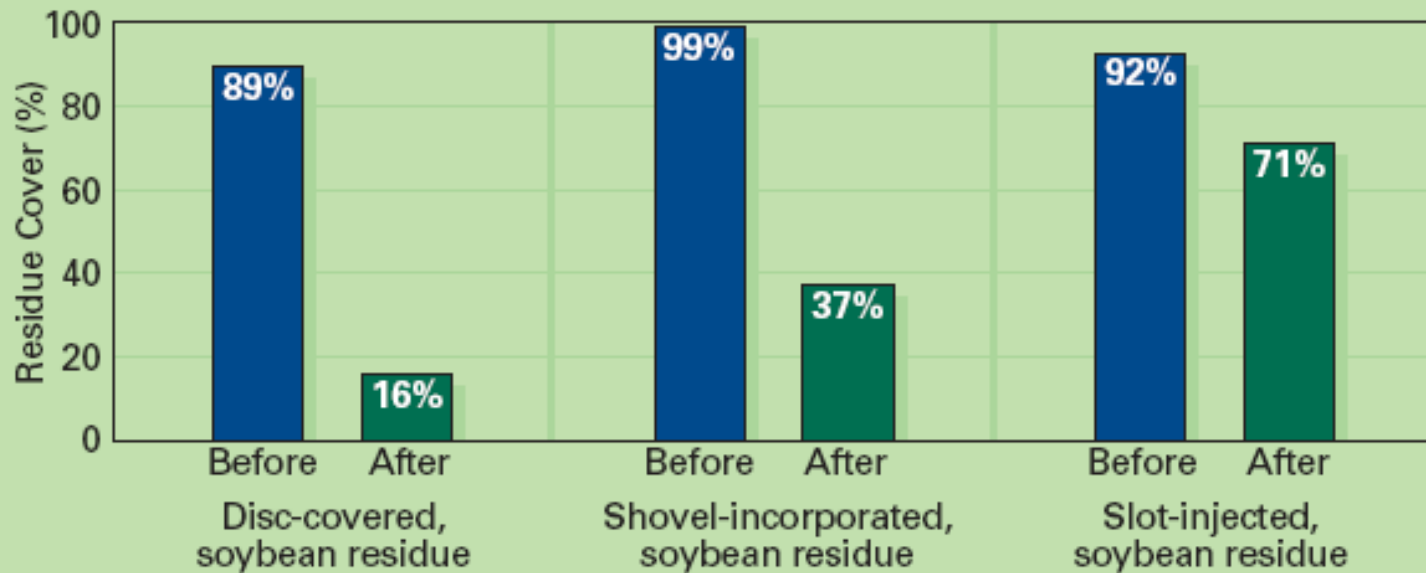


Figure 5. Effect of different manure application injectors and incorporators on soybean surface residue cover.

<http://extension.agron.iastate.edu/soilmgmt/PubsISU.html>

- Calibración del equipo

- Evitar sobre o, sub aplicación de nutrientes

# Fuentes de información

- **HERRAMIENTAS DE APOYO PARA ELABORAR EL PLAN DE USO**

<http://www.cebra.com.uy/renare/planes-de-uso-y-manejo-de-suelos/herramientas-de-apoyo/>

- **Localización de padrón con plan de uso presentado:**

<http://web.renare.gub.uy/js/consultaplanes/>

- **Material introductorio a la Carta de Suelos del Uruguay 2014, a escala 1/40.000:**

<http://www.cebra.com.uy/renare/media/INTRODUCCION-A-LA-CARTA-DE-SUELOS-DEL-URUGUAY-2014-a-escala-40000.pdf>

- **Consulta CONEAT:**

<http://web.renare.gub.uy/sl/coneat/>

- **Visualizador RENARE:**

<http://web.renare.gub.uy/sl/vrenare/>

<http://www.cebra.com.uy/renare/estudios-basicos-de-suelos/cartografia-2/material-de-interes-2/>

# Fuentes de información

- **BIBLIOTECA DIGITAL**

<http://www.cebra.com.uy/renare/biblioteca-digital/>

- Visualizador RENARE

<http://web.renare.gub.uy/sl/vrenare/>



- **• Criterios**

**Limitante del suelo a la aplicación de efluentes de acuerdo a la capacidad de almacenaje de agua del suelo**

<b>Limitante</b>	<b>Capacidad de almacenaje (mm)</b>
Leve	mayor a 152
Moderada	76-152
Severa	menor a 76

- **• Criterios**

**Limitante del suelo a la aplicación de efluentes de acuerdo a la profundidad de la roca**

<b>Limitante</b>	<b>Profundidad a la roca (cm)</b>
Leve	mayor a 100
Moderada	50-100
Severa	menor a 50

- **• Criterios**

**Limitante del suelo a la aplicación de efluentes de acuerdo a la conductividad hidráulica del horizonte B**

		Limitante	
	Leve	Moderada	Severa
		cm.hr <sup>-1</sup>	
Líquido	< 5.1	5.1-15.3	> 15.3
Sólidos	5.1-1.5	1.5-0.51 <sup>(1)</sup>	<0.51
		5.1-15.3 <sup>(2)</sup>	> 15.3

(1) Se favorecen las pérdidas por lixiviación.

(2) Se favorecen las pérdidas por escurrimiento.