



**Curso de Maquinaria Agrícola**

---

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

*Capítulo 03.-*

# **Equipos para el trabajo del suelo**

**Prof. Luis Márquez  
Dr. Ing. Agrónomo**



*Curso de Maquinaria Agrícola*

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

## **Equipos para el trabajo del suelo**

*Capítulo 03.0.-*

---

### **Principios agronómicos**

**Prof. Luis Márquez  
Dr. Ing. Agrónomo**

En esta 1ª Parte se pretende dar una visión global que justifique el laboreo del suelo para preparar el perfil “diferencial” que se necesita para la nascencia y desarrollo de los cultivos.

Asimismo se explica el comportamiento del suelo frente a los elementos labrantes, y la influencia que tiene el estado de humedad del suelo.



## Labrar bien y sembrar a tiempo, ¿quién lo mejora?

### El arado: ¿el bueno?... o ... ¿el malo?

- Base de la agricultura tradicional
- Culpable (¿presunto?) de la desertización

### Algunas preguntas:

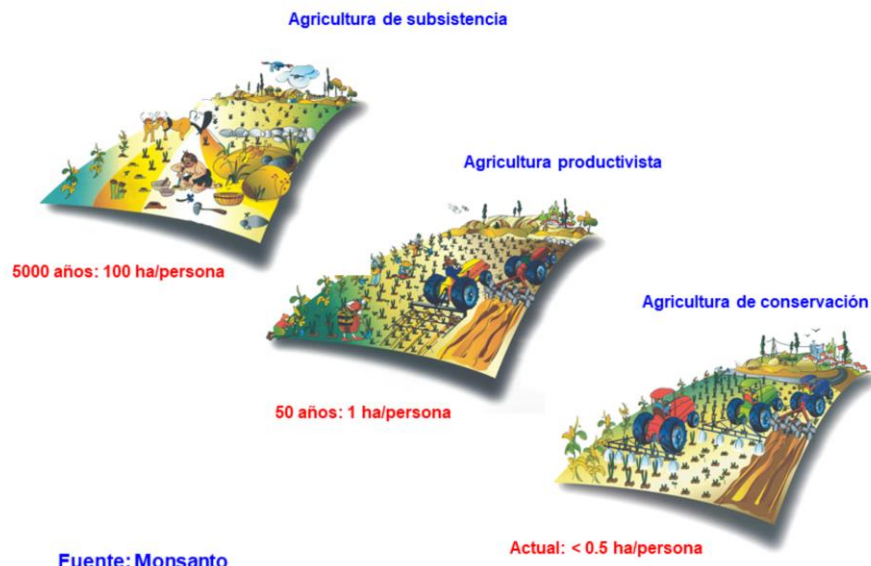
- ¿Es imprescindible para conseguir buenas cosechas?
- ¿Es la mejor solución en determinadas circunstancias?
- ¿Hay que prescindir totalmente del arado volteador?

**Del “ara profundo y echa basura... y olvida los libros de Agricultura”, a la “agricultura sostenible” y el “laboreo de conservación”**

La labranza del suelo ha sido durante siglos la base de la agricultura. Los avances en el conocimiento tecnológico permiten modificar las formas de actuación para asegurar la producción manteniendo en buen estado el recurso productivo.



## Evolución de la Agricultura



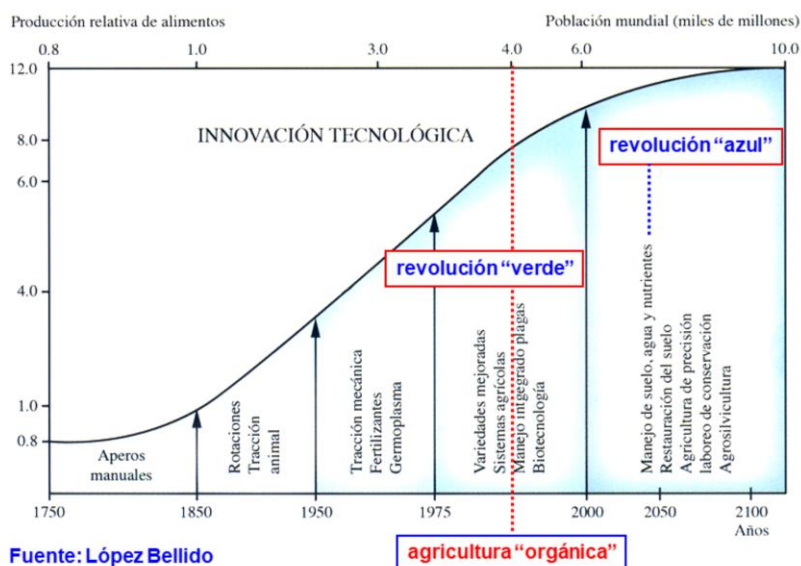
El aumento de la población ha reducido la superficie que se puede dedicar a la producción de alimentos para cada habitante de la Tierra.

De la agricultura de subsistencia se pasó a la productivista. Para mantener el recurso productivo se necesita la agricultura de conservación que mantiene la productividad pero sin deterioro ambiental.



## Evolución de la producción de alimentos y de la población mundial

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



En los años '70 se produjo la "revolución verde" basada en la mejora de semillas mediante hibridación.

Con la agricultura "orgánica" solo se podrían atender las necesidades alimentarias de unos 4000 M de personas.

En el siglo XXI se necesita la revolución "azul" basada en el mejor aprovechamiento del agua y nuevas mejoras genéticas para los cultivos.



## Objetivos de la agricultura productiva

- Mejorar la productividad del suelo
- Rentabilizar los insumos (fertilizantes y fitosanitarios)
- Mantener bajos costes de mecanización

### En los países con alimentos suficientes:

- Hay limitaciones medioambientales
- Pagan por no producir, o por hacerlo mal

**En consecuencia, hay que buscar alternativas que permitan compatibilizar la rentabilidad de la empresa agrícola con la protección medioambiental que exige la sociedad.**

Bases de la agricultura “sostenible”.



## ¿Por qué labrar?

- Así se ha hecho siempre y muchos agricultores se sienten ante todo labradores.
- El cultivo es “antinatural”: una sola especie sobre la parcela; defensa frente a las plantas competidoras (nutrientes y agua).
- El ambiente: evolución del medio natural hasta convertirse en un “agrosistema” de manera que los seres vivos, hasta las plagas, dependen de las modificaciones introducidas por el hombre.

¿Es imprescindible la labranza de los suelos?

¿Es compatible con los principios de la Agricultura sostenible?

En la actualidad, hasta los animales salvajes dependen en gran medida de los cultivos implantados por el hombre.



## Los herbicidas: una alternativa a la labranza

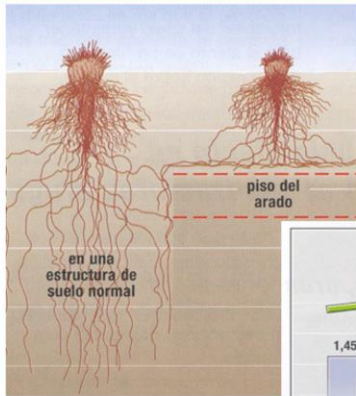
- **Cambian el panorama en la lucha contra las malas hierbas.**
- **La importancia del equipo de aplicación: eficacia y costes (mínima cantidad de materia activa).**
- **El tránsito de los vehículos agrícolas ¿puede limitar el desarrollo radicular de las plantas?**

La llegada de los herbicidas de síntesis permite controlar las malas hierbas sin tener que recurrir al trabajo del suelo, pero la compactación que se produce de forma natural o por el efecto de las máquinas agrícolas puede limitar el desarrollo radicular reduciendo la producción.

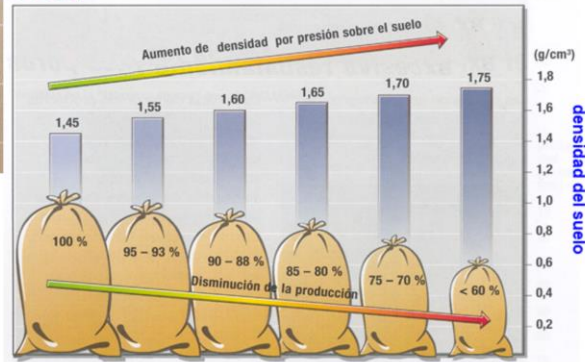




## Con el suelo compactado



Se necesita una estructura del suelo que permita un desarrollo suficiente de las raíces



Evolución de la producción a medida que aumenta la densidad aparente del suelo (compactación).



## Particularidades de la Agricultura

- No existen normas fijas (¡depende!...)
- El laboreo y la siembra dependen:
  - De la climatología
  - De la naturaleza y el estado del suelo
  - Del cultivo precedente
  - De los equipos disponibles

**Cada agricultor debe de elegir el mejor sistema para su caso particular, de manera que consiga el perfil del suelo mas apropiado para el cultivo.**

Variabilidad de las condiciones agrícolas: suelos, climas, cultivos, situación socioeconómica...



## La preparación de suelo

### Labrar bien:

- Modificar la densidad aparente del suelo.
- Controlar la vegetación adventicia.
- Evitar las pérdidas de suelo por erosión.

### Sembrar a tiempo:

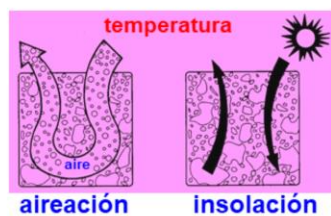
- Sucesión de labores que ayuden a preparar el lecho de siembra (granulometría y humedad) con oportunidad.

Es importante aprovechar los factores naturales (lluvia, heladas...) para conseguir efectos favorables en el suelo reduciendo las intervenciones.

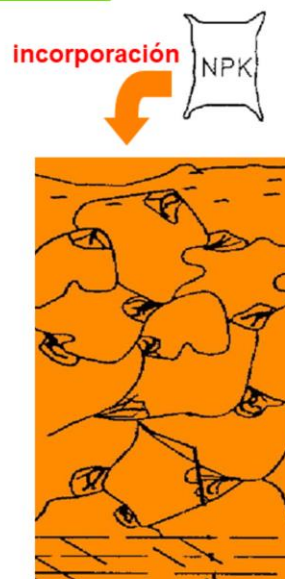
Ejemplo: los terrones formados con la arada del suelo se rompen durante una estación lluviosa, o por efecto de las heladas.



## Además...



Presencia de residuos vegetales

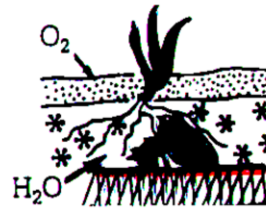


Además de modificar la densidad aparente del suelo para favorecer el desarrollo radicular de los cultivos, con el trabajo del suelo se controla su humedad y su temperatura, a la vez que se pueden incorporar los fertilizantes y los restos vegetales.



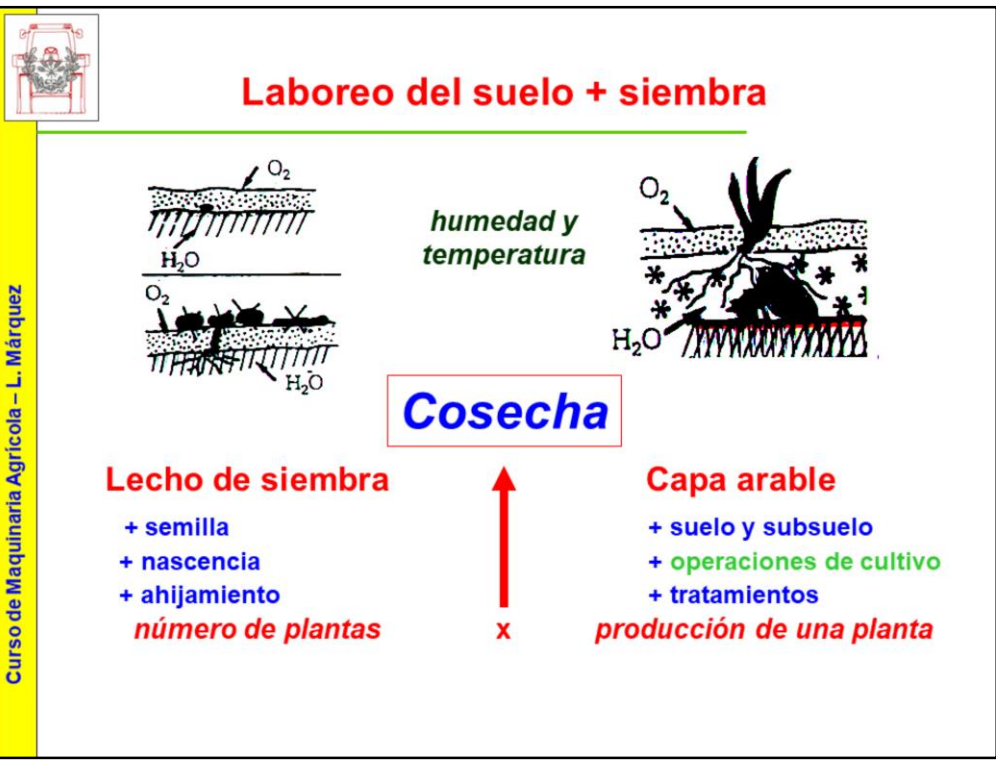
## Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas

- **Objetivos del trabajo del suelo:**
  - Control de la maleza
  - Mantenimiento de la densidad aparente
- Pérdida de la estructura del suelo por un laboreo inapropiado
- Formación de costra superficial: “nace peor”
- **Para planificar el trabajo del suelo se deben de tener en cuenta:**
  - Los factores agroclimáticos
  - Los costes de producción
  - Las rotaciones de cultivos



El trabajo del suelo en todas sus etapas debe hacerse sin perder de vista el objetivo final de producción y conservación del suelo.

En los suelos con mala estructura se producen costras superficiales que dificultan la nascencia.



Para obtener la mayor cosecha se necesita que el número de plantas por hectárea sea adecuado, a la vez que cada planta alcance el mayor potencial para las condiciones de clima y suelo.

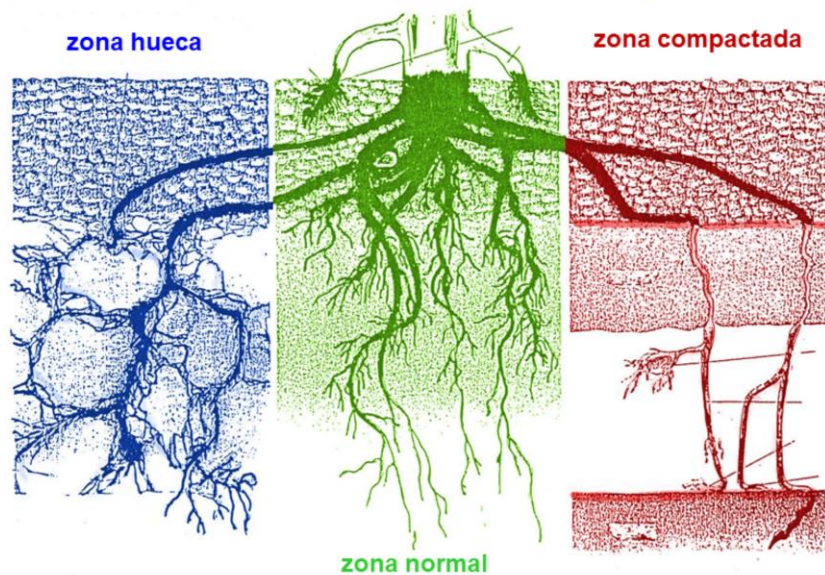
Para conseguir suficiente cantidad de plantas se necesita semilla adecuada y preparar un lecho de siembra que favorezca su germinación y nascencia. El laboreo secundario se encarga de la preparación del lecho de siembra.

El desarrollo de las plantas está afectado por la capa arable del suelo donde se desarrollan sus raíces. El laboreo primario se encarga de preparar el perfil de suelo explorado por las raíces.



## Comportamiento del sistema radicular en función de la estructura del suelo

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



Para conseguir un buen desarrollo radicular se necesita que el suelo no se encuentre compactado. Conviene que la densidad aparente del suelo aumente ligeramente con la profundidad para que las plantas agarren mejor.

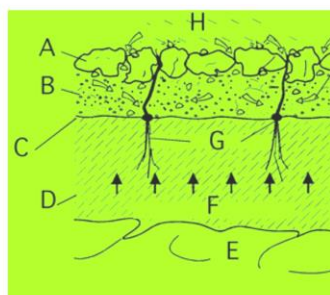
En suelos con huecos las raíces tienden a crecer por las zonas menos densas del suelo, y dejan sin explorar las compactadas, con lo que se reduce el volumen del suelo aprovechado por el cultivo.

Los suelos con capas compactadas impiden el normal desarrollo de las raíces del cultivo.

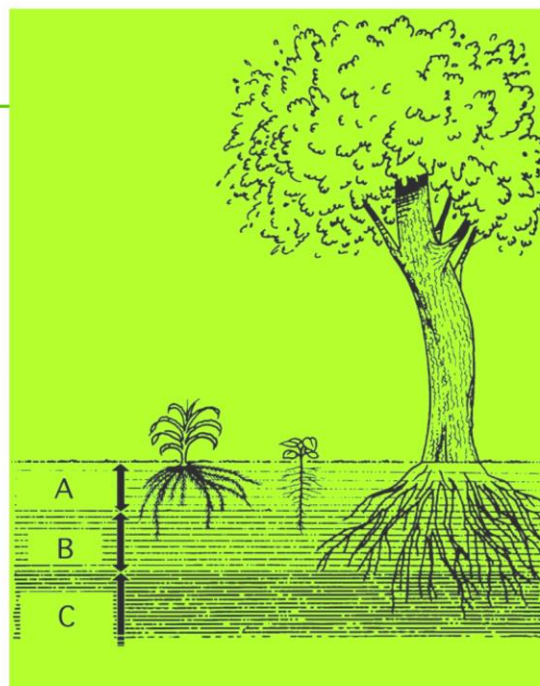




## Diferencias en el desarrollo radicular



lecho se siembra



La profundidad de intervención debe estar relacionada con el desarrollo potencial de las raíces del cultivo considerado.

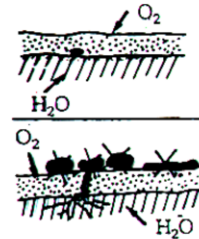
La profundidad del lecho de siembra está condicionada por el tamaño de las semillas.





## Nascencia y germinación de la semilla

- **Formación del lecho de siembra:**
  - Laboreo secundario
  - Bota de siembra
- Dificultad para trabajar con residuo superficial
- Tránsito de las máquinas (suelo nivelado)
- **Siembra directa:**
  - superficie nivelada
  - con un suelo fisurado en profundidad



El laboreo secundario y las botas de las sembradoras se encargan de preparar el lecho de siembra. En el mismo se necesita un capa asentada donde se sitúa la semilla, tierra fina para favorecer el contacto semilla-suelo (la humedad del suelo pasa mejor a la semilla) y una superficie aterronada que facilite la nascencia sin que se llegue a producir una costra superficial.

Si se realiza la siembra directa la superficie del suelo debe estar nivelada y el suelo fisurado en profundidad para que puedan desarrollarse las raíces.



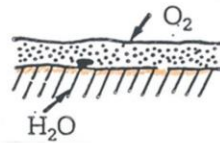
La llegada de la humedad del suelo a las semillas para que germinen se favorece rodeando la semilla de tierra fina y aumentando la presión del suelo sobre la semilla.

La primera opción es preferible. En semillas muy pequeñas la preparación de un lecho de siembra apropiado es imprescindible para asegurar la germinación y nascencia.



## Necesidades de la planta

### Germinación



- agua
- aire
- temperatura de germinación

### Nascencia



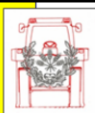
- agua
- aire
- temperatura de vegetación

### Enraizamiento



- agua
- aire
- temperatura de vegetación
- nutrientes

Se necesita un perfil de suelo diferencial, ya que las necesidades de la planta no son homogéneas en las diferentes etapas de su desarrollo.



## Nivel de intensidad en el trabajo del suelo

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

	Energía mecánica	Residuo superficial
Laboreo tradicional	***	*
Laboreo reducido	**	**
Siembra directa	*	***

Laboreo de conservación (con residuo): >30% al sembrar

La labranza tradicional exige mayor consumo de energía para el conjunto de las labores. Este consumo energético se minimiza con la siembra directa.

Por otra parte, el laboreo tradicional con volteo del suelo (arada) incorpora los residuos al suelo para conseguir su descomposición anaerobia, dejando el suelo desnudo, lo que favorece la erosión hídrica y eólica. Con la siembra directa casi todos los residuos quedan en la superficie.

Se considera que se realiza "laboreo de conservación" con residuo superficial cuando permanece el 30% del residuo en la superficie en el momento en que se implanta el cultivo que sigue en la rotación.



## Tipo de labranza recomendada

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

Suelo compactado en profundidad	Suelo fisurado en profundidad	
	Superficie nivelada	Superficie irregular
Laboreo primario + laboreo secundario + sembradora	Siembra directa  (tipo de sembradora)	Laboreo secundario + sembradora

Para poder hacer siembra directa se necesita un suelo nivelado en la superficie y fisurado en profundidad. La sembradora se encarga de preparar el lecho de siembra, pero nunca modifica el perfil del suelo en el que se desarrolla el cultivo.

Si el suelo está compactado en profundidad es imprescindible el laboreo primario del suelo.

En un suelo con superficie irregular se necesita un laboreo secundario complementario de la acción de la bota de la sembradora.



**Curso de Maquinaria Agrícola**

---

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

## **Equipos para el trabajo del suelo**

---

## **Propiedades mecánicas del suelo**

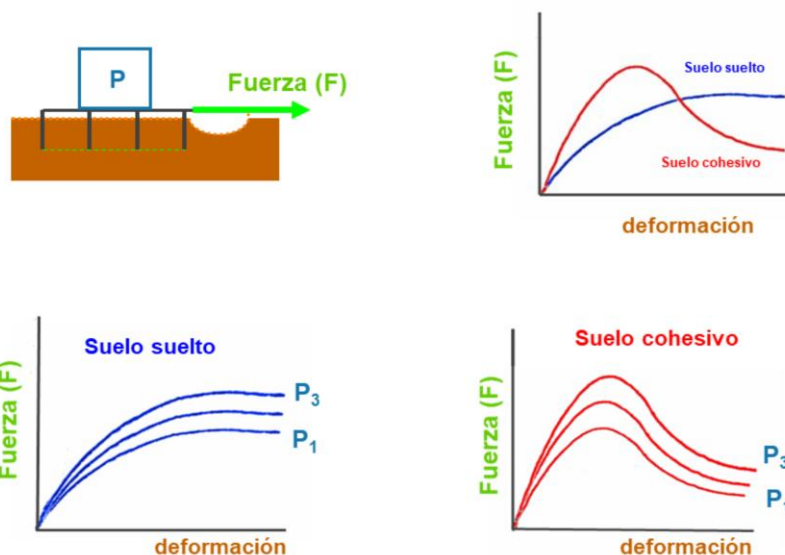
Tanto para el laboreo primario como para el secundario se necesitan aperos diseñados utilizando elementos que actúan sobre el suelo. Su comportamiento depende de la resistencia que opone el suelo a diferentes acciones mecánicas.

Por ello, antes de analizar las características de los aperos para el trabajo del suelo, conviene estudiar el comportamiento del suelo frente a las acciones mecánicas.



## Comportamiento del suelo sometido a esfuerzo cortante

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



Colocando una placa con garras en el suelo y una carga sobre ella la rotura del suelo se produce cuando la fuerza de tracción supera un determinado nivel, que depende del tipo de suelo y de la carga sobre la placa.

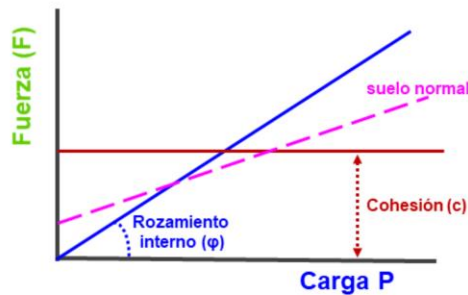
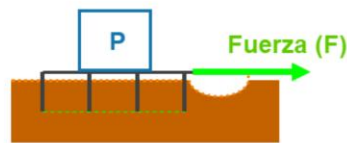
En el caso de los suelos sueltos la fuerza necesaria para desplazar la placa alcanza un nivel máximo y se mantiene estable con el desplazamiento del suelo.

En suelos cohesivos la rotura del suelo se produce cuando se aplica una fuerza máxima, y puede mantener el desplazamiento con una fuerza menor.



## Comportamiento del suelo sometido a esfuerzo cortante

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



$$F = c \cdot A + P \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$A = \text{área placa}$$
$$P = \text{carga vertical}$$

$$\tau = F/A = c + p \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Representando gráficamente la relaciones entre la carga sobre la placa y la fuerza necesaria para provocar la rotura entre las garras de la placa y el suelo se obtiene una recta con diferente inclinación en función del tipo de suelo (recta de Coulomb).

Así, la fuerza necesaria para producir la rotura del suelo depende de la que se define como "cohesión" del suelo ( $c$ ) y del rozamiento interno de las partículas del suelo ( $\operatorname{tg} \varphi$ ), factores que afectan a la superficie de la placa y a la carga vertical.

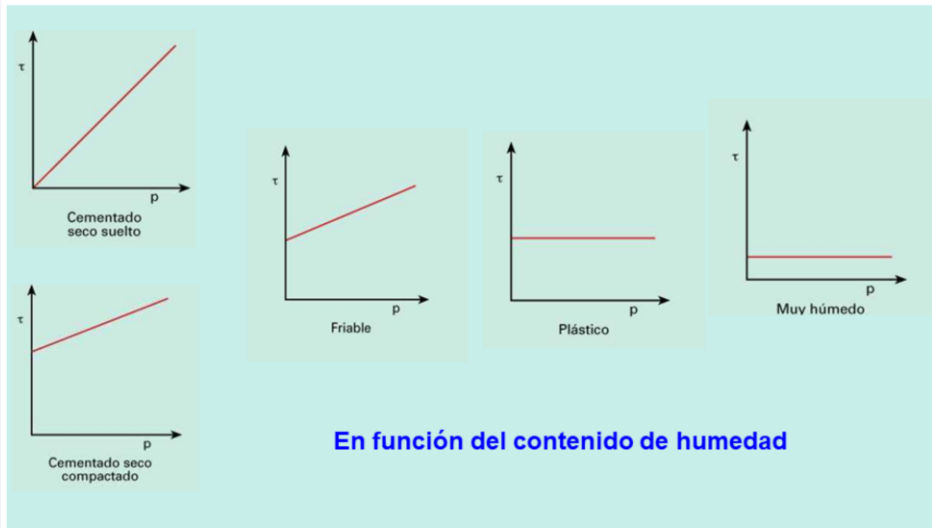
Esta fuerza dividida por la superficie de apoyo de la placa indica la rotura del suelo por el esfuerzo cortante aplicado sobre él.





## Comportamiento mecánico del suelo

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

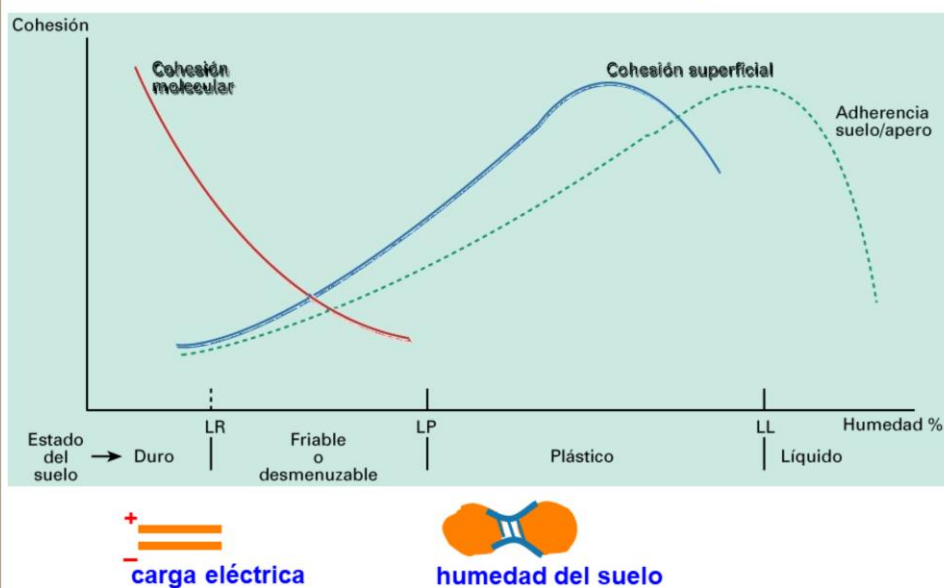


La recta de Coulomb toma diferentes posiciones en función del tipo de suelo y su contenido de humedad.



## Fuerzas resistentes del suelo en función de la humedad

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



Las fuerzas de unión entre las partículas del suelo están condicionadas por las características de los materiales que forman el suelo (arena, limo y arcilla) y su contenido de humedad.

En suelo muy seco se produce una unión entre partículas (cargas eléctricas en las partículas de arcilla) dando lugar a lo que se conoce como cohesión molecular (cohesión), que se reduce a medida que aumenta la humedad del suelo.

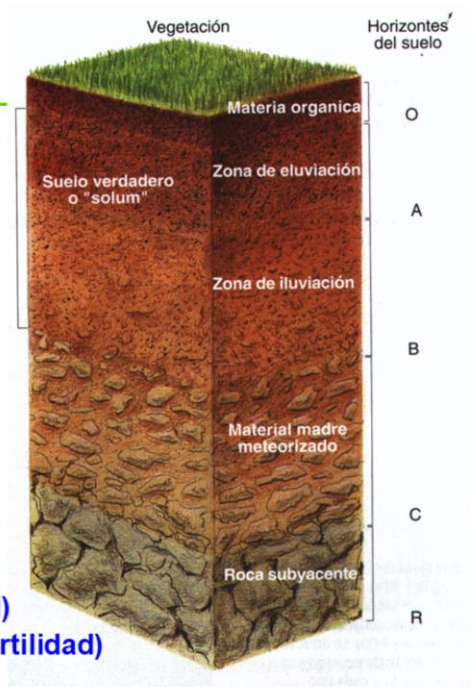
Cuando aumenta la humedad se produce entre los elementos del suelo una unión como consecuencia de la entrada del agua en los poros de los terrones (cohesión superficial o adherencia). También un aumento de la humedad del suelo hace que este se pegue a los aperos que lo trabajan. Aumentando más el contenido de agua en el suelo este alcanza una consistencia de un líquido denso.

En el gráfico se representa las fuerzas resistentes del suelo en función de la humedad marcando los límites de Retracción (LR), Plástico (LP) y Líquido (LL)



## El perfil del suelo y desarrollo de las raíces

- Estado físico (potencial)
- Elementos químicos (fertilidad)



El suelo no es homogéneo y varían sus características físicas y químicas con la profundidad.



## Caracterización de un suelo



ARENOSA  
FIG. 1



MEDIA  
FIG. 2



ARCILLOSA  
FIG. 3

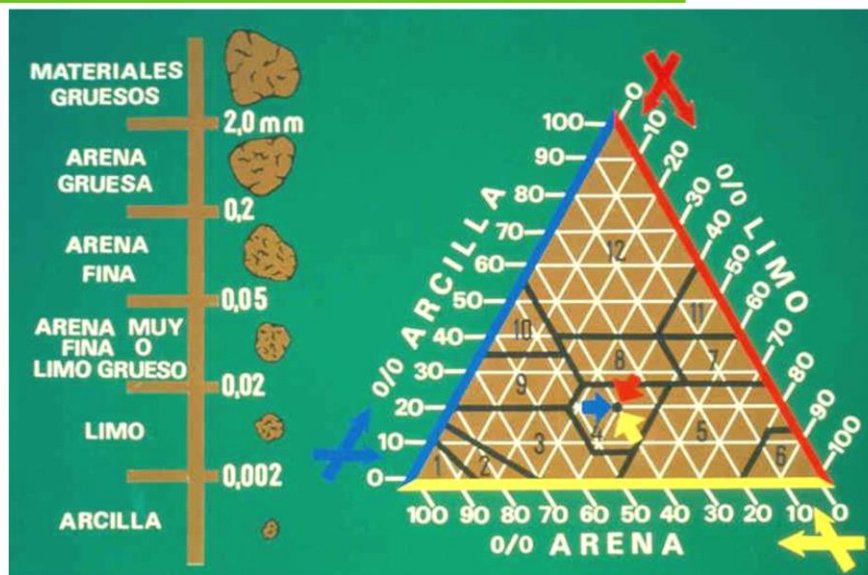


Métodos rápidos para la caracterización de los suelos.



## Textura del suelo

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



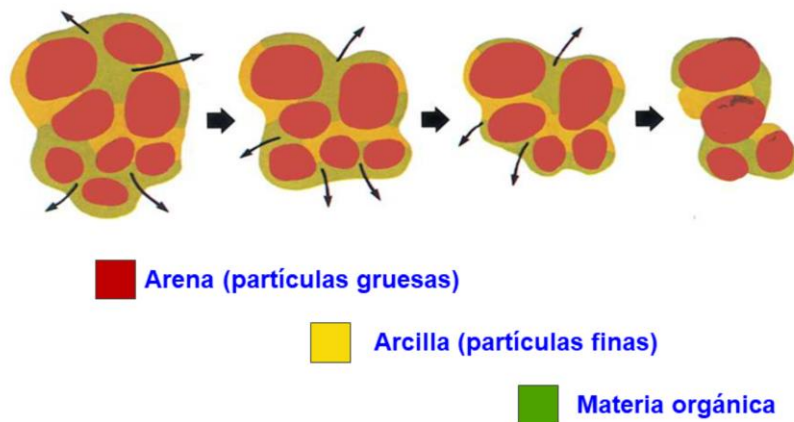
Fuente: Fertiberia

El contenido de arcilla del suelo influye notablemente en su comportamiento mecánico.



## Formación de agregados (estructura)

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

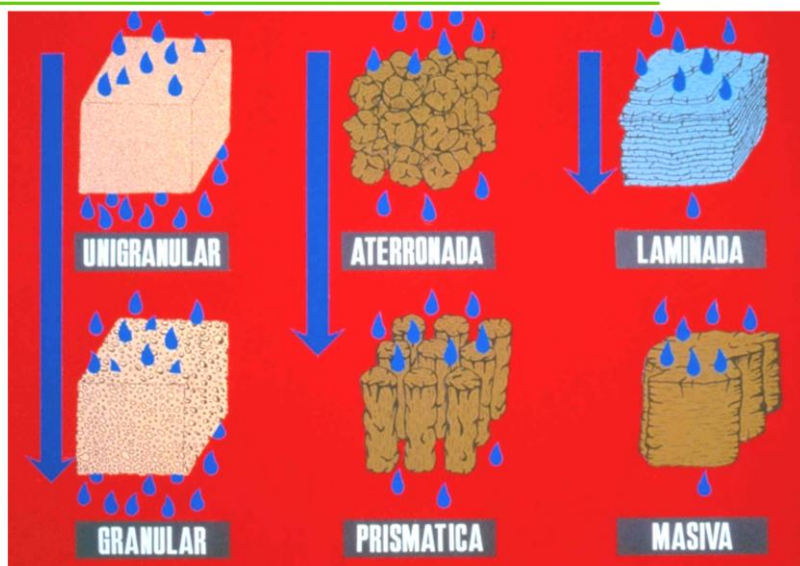


Las partículas de arcilla y la materia orgánica actúan como aglomerantes en el suelo, dando lugar a una estructura más o menos compacta.



## Estructura del suelo

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

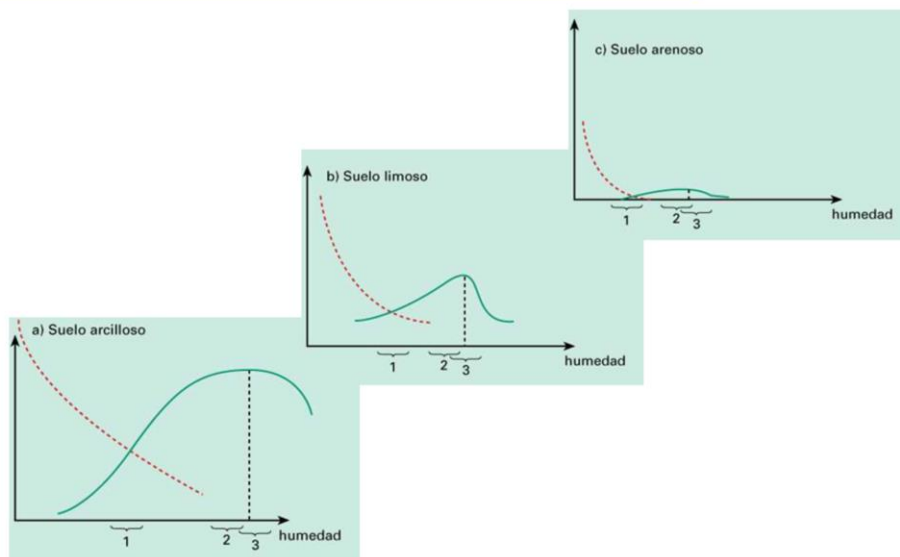


Fuente: Fertiberia

En función de la estructura cambia el comportamiento del suelo en relación con su capacidad para dejar circular el aire y el agua



## Variación según el tipo de suelo



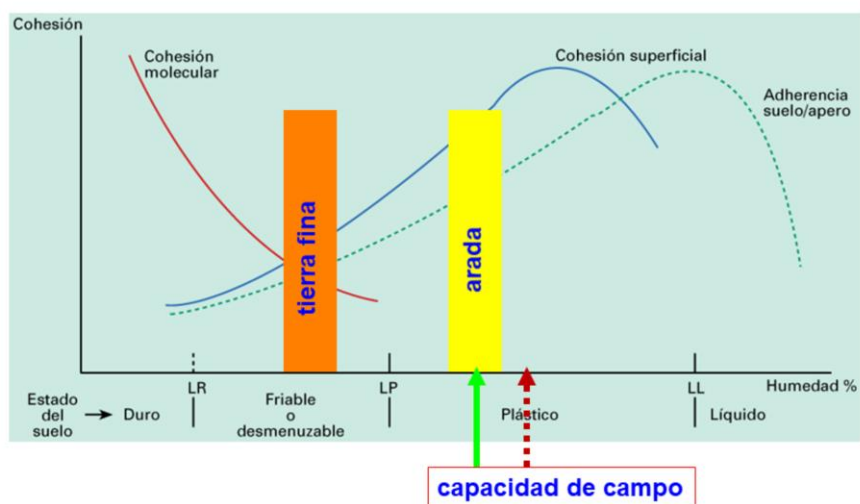
En función de los contenidos de arcilla, limo y arena cambia el comportamiento mecánico del suelo.





## Condiciones de humedad apropiadas

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



El trabajo del suelo debe realizarse, dentro de lo posible, con unas condiciones de humedad adecuadas.

Para crear tierra fina (laboreo secundario) conviene trabajar con el suelo en estado friable.

Para una labor de arada interesa el suelo en estado plástico (tempero). En los suelos con alta capacidad de retención de agua puede ser difícil el laboreo, ya que la humedad en el suelo drenado (capacidad de campo) está por encima de lo que se considera adecuado para la arada.



## Componentes en el suelo aireado

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



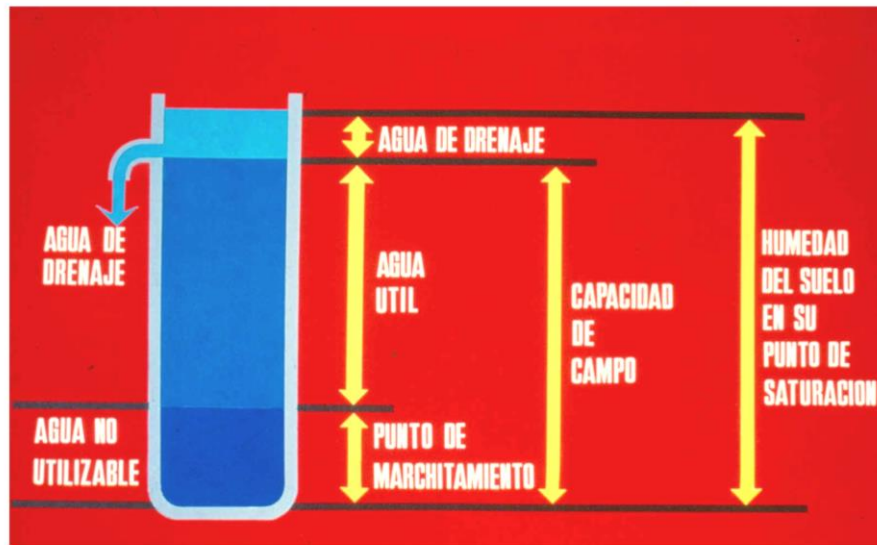
Fuente: Fertiberia

En un suelo adecuado para que las raíces de las plantas se desarrollen es necesaria la presencia de aire (respiración) y agua aprovechable.



## Agua utilizable

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



Fuente: Fertiberia

Cuando llega una lluvia intensa el suelo se satura de humedad y progresivamente pierde parte de esta agua, alcanzando el nivel denominado de “capacidad de campo”.

En el intervalo de agua útil las plantas encuentran agua suficiente para su desarrollo.

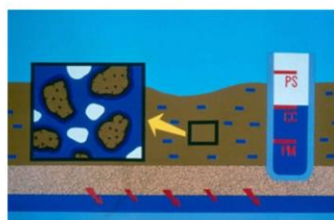
Al perder humedad se llega al punto de marchitamiento, nivel de humedad por debajo del cual las plantas no pueden aprovechar el agua que se encuentra en el suelo.



## Contenido de agua en el suelo



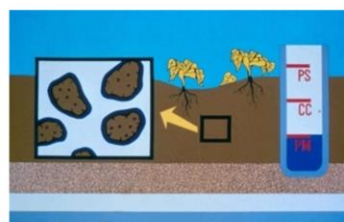
**saturación**



**drenaje hasta capacidad de campo**



**pérdida de agua por evapotranspiración**



**punto de marchitamiento**

Fuente: Fertiberia

Estados del suelo a medida que pierde humedad



## Fijación del agua en el suelo

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



Fuente: Fertiberia

La capacidad de retención de agua del suelo depende fundamentalmente de su contenido de arcilla.



*Curso de Maquinaria Agrícola*

---

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

## **Equipos para el trabajo del suelo**

---

## **Aperos y su acción sobre el perfil del suelo**



## Función principal

- Modificar el estado del suelo para favorecer la implantación de los cultivos y su desarrollo radicular.

### Producen:

- El **estallamiento** del suelo para reducir su densidad aparente.
- La **compactación y asentado** mediante la reordenación de los agregados.
- La **desintegración** del suelo rompiendo los terrones gruesos.
- La **inversión** del suelo con incorporación de restos de cosecha y enmiendas.
- La **creación de galerías** para favorecer el drenaje.



## Se incluyen en este Grupo

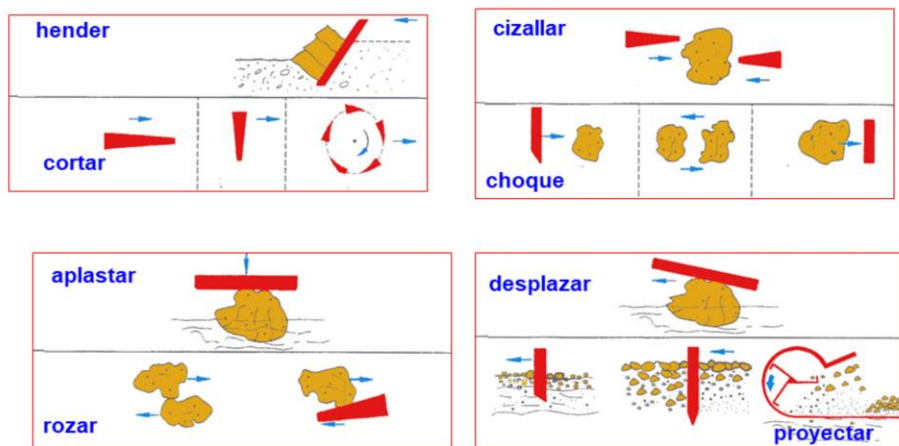
- Equipos para labores profundas, que son la base del laboreo “primario” del suelo.
- Equipos para preparación de lecho de siembra, que hacen posible el laboreo “secundario”.
- Equipos para labores entre líneas, que permiten realizar las labores una vez que el cultivo ha sido implantado.
- Equipos para preparación de substrato para cultivo forzado, maquinaria especializada de la agricultura intensiva.
- Otros equipos para trabajo del suelo que no encajen en los subgrupos anteriores pero que sean una alternativa para cualquier equipo de trabajo del suelo.
- *Los elementos labrantes toman formas diversas, predominando las denominadas púas, dientes o rejas, los discos y las azadas.*





## Acción de los elementos labrantes en el suelo

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

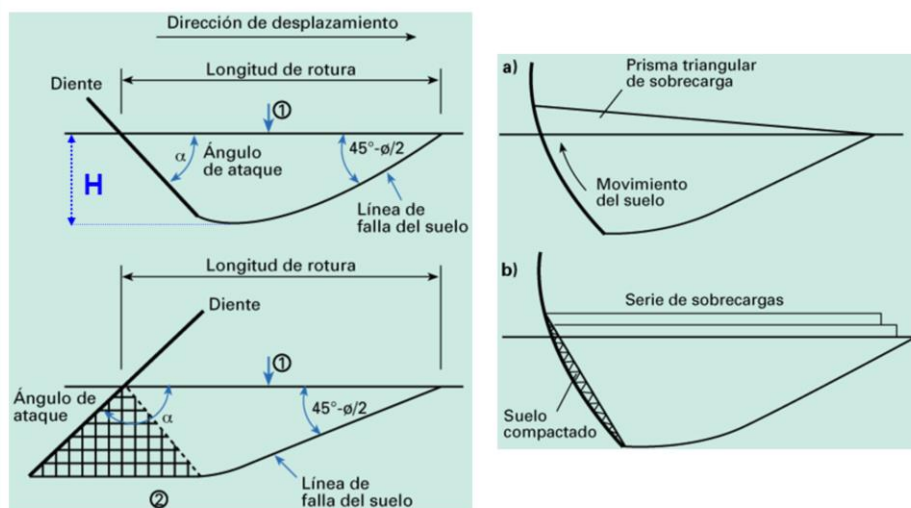


La rotura del perfil del suelo y de los terrones se realiza de forma diferente según la incidencia en el suelo de los elementos labrantes.



## Rotura del suelo por el efecto de un diente ancho

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez



Longitud de rotura dependiente de:  $\phi$ ,  $\delta$ , H

Movimiento en el suelo de un diente recto ancho:

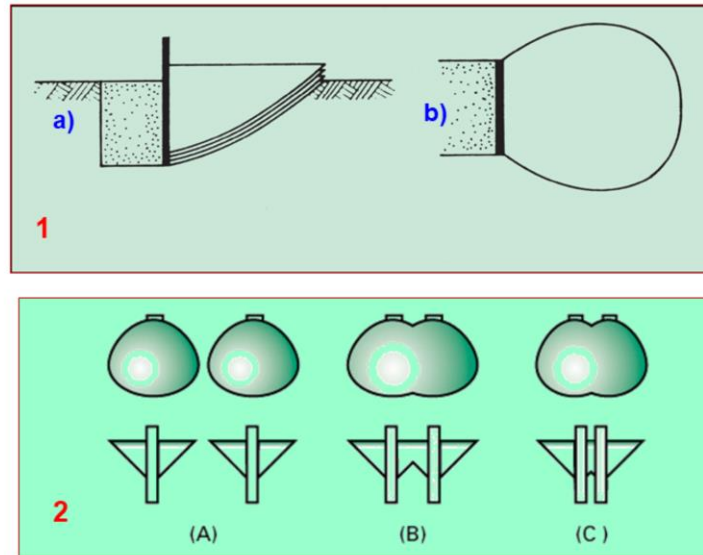
- La longitud de rotura depende de la longitud y del ángulo de ataque del diente y del rozamiento interno del suelo.
- Cualquier sobrecarga (1) sobre la zona de rotura (ruedas, bastidor, etc.) hace aumentar la resistencia que opone al suelo al avance del diente.
- Cuando el ángulo de ataque ( $\alpha$ ) supera los  $90^\circ$  una parte del suelo se mueve integrada con el diente.

Movimiento en el suelo con dientes anchos curvados;

- a) Con deslizamiento suelo-diente la zona de rotura toma forma de prisma triangular.
- b) Si no se produce deslizamiento, una parte del suelo permanece unida al diente, que se comporta como un diente recto, aunque se necesita mayor esfuerzo para hacerlo avanzar.



## Rotura del suelo por el efecto de un diente ancho estrecho



1.- Falla del suelo producida por el avance de un diente estrecho (anchura inferior a 2 veces la profundidad de trabajo) en posición vertical: a) vista lateral; b) vista superior.

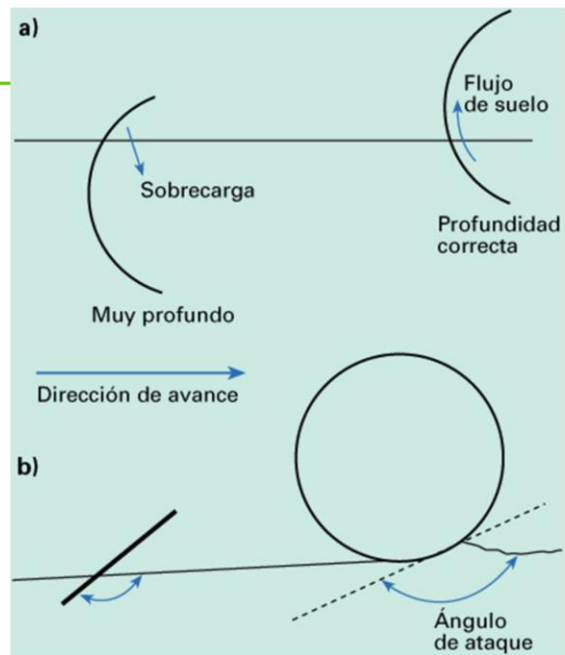
El movimiento del diente en el plano vertical crea un bloque de suelo en forma de cuña limitada por dos planos verticales y de una superficie curvada. La inclinación de la superficie de deslizamiento depende del frotamiento suelo metal y del ángulo de rozamiento interno del suelo. La cuña se desplaza por delante del diente y desliza al mismo tiempo hacia arriba.

La cuña se comporta como un cuchillo que separa el suelo en dos partes, empujándolo hacia arriba y hacia los lados. Los bloques se aíslan del resto del suelo siguiendo las trayectorias que imponen las líneas de desplazamiento, de manera que, en movimiento continuo, se producen compresiones y fisuras en el interior del suelo.

2.- Interacción de la zona de rotura para dientes rectos en función de su separación: a) actuación independiente; b) interacción; c) acción similar a la de un diente de mayor anchura.



## Efecto de la geometría del diente y del ángulo de ataque sobre la resistencia del suelo



Efecto de la geometría del diente y del ángulo de ataque sobre la resistencia del suelo.

- a) En un diente curvo trabajando a demasiada profundidad se interrumpe el flujo del suelo provocando una sobrecarga.
- b) Un diente inclinado hacia atrás se comporta como un rodillo (igual ángulo de ataque).



## Acción de los aperos en el suelo (operaciones básicas)

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

ACCIONES	TIPO DE APEROS QUE LAS REALIZAN
<b>Hendir</b>	Todos los aperos en suelo masificado
<b>Cortar</b>	Aperos de discos Arados Cavadoras Cultivadores rotativos
<b>Cizallar</b>	Gradas alternativas Gradas rotativas
<b>Golpear</b>	Aperos con pantallas Aperos de dientes

<b>Rozamiento</b>	Cultivadores Gradas de discos y de azadas Vibrocultivadores
<b>Aplastamiento</b>	Rodillos Ruedas
<b>Desplazamiento lateral</b>	Aperos de dientes Gradas de discos
<b>Desplazamiento vertical</b>	Cultivadores Gradas Vibrocultivadores
<b>Proyección</b>	Cultivadores rotativos
<b>Volteo</b>	Arados

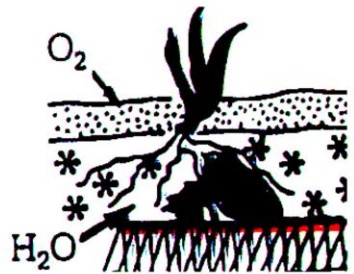
Los diferentes aperos actúan sobre el suelo con acciones de hendir, cortar, cizallar, golpear...



## Laboreo primario (afecta al perfil explorado por las raíces)

Profundidad de actuación:  
Consumo de energía – costes

Efecto sobre el residuo superficial



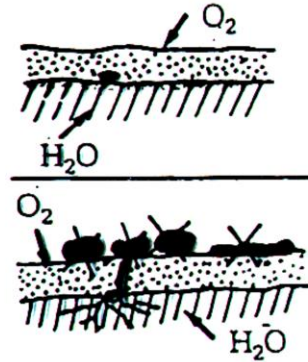
Capítulo 03.1.-

Cuando la profundidad de acción de un apero se adapta al perfil del suelo en el que se desarrollan las raíces, este apero se considera adecuado para el laboreo primario.



## Laboreo secundario (preparación del lecho de siembra)

Efecto sobre el residuo superficial



Capítulo 03.2.-

Cuando la profundidad de acción de un apero se utiliza para la preparación de la capa más superficial del suelo y el lecho de siembra, este apero se considera adecuado para el laboreo secundario.



## Laboreo de conservación (presencia de residuo superficial) y siembra directa



Capítulo 03.3.-

Dentro de los aperos para el laboreo secundario hay algunos que permiten mantener el residuo en la superficie para controlar la erosión. Las operaciones realizadas con estos aperos se consideran como “laboreo de conservación” que incluye la siembra directa.





*Curso de Maquinaria Agrícola*

Curso de Maquinaria Agrícola – L. Márquez

## **Equipos para el trabajo del suelo**

*Capítulo 03.0.-*

**---**

### **Principios agronómicos**

**Prof. Luis Márquez  
Dr. Ing. Agrónomo**