

CURSO: Producción de plantas forestales  
en vivero

**PROPAGACION  
VEGETATIVA**

# PROPAGACION VEGETATIVA

Es la reproducción empleando partes vegetativas de la planta original.

Puede ocurrir mediante la formación de raíces y tallos adventicios o por medio de la unión de partes vegetativas por injerto.

En cultivos asépticos se han regenerado plantas completas a partir de células individuales

# ¿ POR QUE EMPLEAR LA PROPAGACION VEGETATIVA?

- ✓ Mantenimiento de clones: en la clonación las características únicas o deseables de cualquier planta individual pueden ser perpetuadas, mientras que por semilla pueden perderse.
- ✓ Propagación de plantas sin semillas: es necesaria para mantener cultivares que no produzcan semillas viables (bananos, higueras, vides)
- ✓ Evitación de períodos juveniles prolongados: algunas plantas leñosas y ciertas herbáceas perennes (orquídeas) pueden necesitar 5 a 10 años para que se inicie la floración. La propagación vegetativa retiene esa capacidad de floración y con ella se evita la fase juvenil.
- ✓ Razones económicas: en general, la propagación no es más económica que la reproducción por semilla, pero su empleo se justifica por la superioridad y uniformidad de las plantas y el acortamiento del tiempo.

# METODOS DE PROPAGACION VEGETATIVA

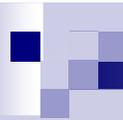
- Propagación por estacas
  - de tallo
  - de hoja
  - de hoja con yema
  - de raíz
- Propagación por injerto
  - de raíz
  - de corona
  - de copa o aéreos
  - de aproximación
- Propagación por acodos
  - de punta
  - simple
  - de trinchera
  - aéreo
  - compuesto
- Micropropagación



# Propagación por estacas

- **Estaca:** es una porción u órgano vegetativo de una planta madre que se corta con fines de propagación, tenemos: estacas de tallo, estacas de raíz, estacas de hoja.
- Solo es necesario que se forme un nuevo sistema de raíces adventicias, ya que existe un sistema caulinar en potencia, una yema.
- Para que se produzcan raíces en las estacas se deben colocar en condiciones ambientales favorables y tener un adecuado balance hormonal.





La propagación por estacas es posible debido a:

- **TOTIPOTENCIA:** cada célula vegetal tiene la información genética necesaria para regenerar la planta entera.
- **DESDIFERENCIACION:** capacidad de las células maduras de volver a una condición meristemática y desarrollar un nuevo punto de crecimiento

# Las raíces adventicias son de dos tipos:

- Las que se desarrollan naturalmente en los tallos cuando todavía están adheridos a la planta madre, pero no emergen hasta después que se cortan (preformadas).
- Las que se desarrollan sólo después de que se hizo la estaca, como respuesta a esa lesión.

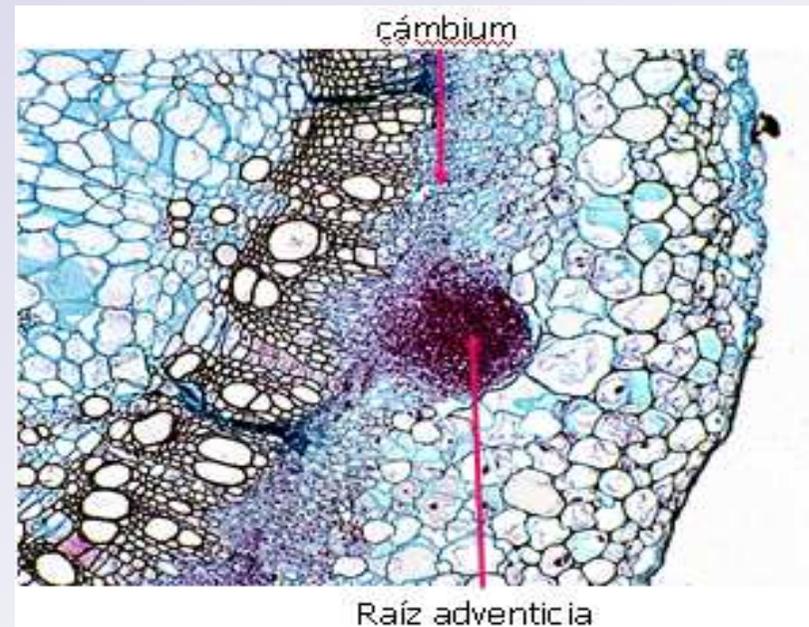
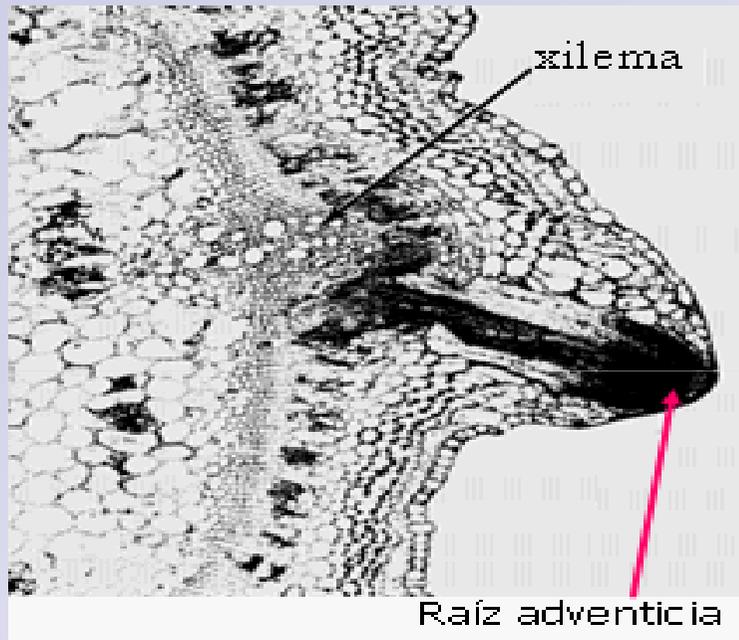


# Cambios anatómicos que se observan en el tallo durante la iniciación de raíces:

- 1- desdiferenciación de células maduras
- 2- formación de iniciales de raíz en células desdiferenciadas
- 3- desarrollo de estas iniciales en primordios de raíz
- 4- desarrollo y emergencia de estos primordios radicales



# ¿Dónde se originan las raíces adventicias?



En las plantas leñosas perennes, las raíces adventicias se originan principalmente en el xilema, pero a veces lo hacen de otros tejidos como los radios medulares, cambium, floema, lenticelas, etc.

# HORMONAS Y REGULADORES DE CRECIMIENTO

- Hormonas vegetales: compuestos naturales no nutrientes, que poseen la propiedad de regular procesos fisiológicos en concentraciones muy bajas, se sintetizan en un lugar de la planta y se trasladan, teniendo efecto en el lugar de síntesis o lejos de él.
- Reguladores de crecimiento: son sintetizados artificialmente y tienen respuestas similares a las hormonas vegetales.

# CLASIFICACION DE HORMONAS Y REGULADORES DE CRECIMIENTO

## Hormonas

auxinas (AIA)  
giberelinas ( $GA_1 \dots GA_{84}$ )  
citocininas  
etileno  
ácido jasmónico  
ácido salicílico  
inhibidores (ácido abscísico)  
fitoalexinas

## Reguladores

tipo auxínico (AIB, 2,4-D, AIP)  
giberelinas  
citocininas (cinetina, BAP)  
inhibidores (CCC, ALAR o  $B_9$ )  
liberadores de etileno (ethephon o ethrel)

# AUXINAS

- La 1ra función descubierta fue la estimulación de la división celular, siendo la estimulación de la iniciación de raíces la segunda función descubierta, pero se constituyó en la 1ra aplicación práctica.
- Las auxinas más utilizadas en el enraizamiento de estacas son: ANA, AIB, AIP, 2,4-D.

# Métodos utilizados para el tratamiento con auxinas

- En solución:
  - lento: 10 a 200 ppm , 48 horas
  - rápido: 4000 a 10000 ppm, segundos
- En pasta: con lanolina, 4000 a 6000 ppm
- En polvo: se solubiliza en alcohol y se mezcla con talco, 4000 a 6000 ppm

# FACTORES QUE AFECTAN LA FORMACION DE RAICES

## ■ Selección del material para estacas

- Condición fisiológica de la planta madre
- Edad de la planta madre
- Estado fitosanitario de la planta madre
- Época del año
- Tipo de madera seleccionada

## ■ Tratamiento de las estacas

- Reguladores de crecimiento
- Nutrientes
- Fungicidas
- Lesionado

## ■ Condiciones ambientales durante el enraizamiento

- Agua
- Temperatura
- Luz (intensidad, longitud, calidad)
- Medio de enraizamiento

## Ejemplos de árboles respecto a la facilidad de enraizamiento:

- 1- se cortan, se colocan en condiciones ambientales adecuadas y enraizan (Populus, Salix)
- 2- la auxina es limitante, se aplica exógenamente auxina y enraizan (Acacia, Acer, Eucalyptus, Fraxinus, Grevillea, Ulmus, Sequoia, Pinus, Quercus)
- 3- incluso con auxinas no enraizan (Abies, Cedrus)

# ESTAQUERO

Lugar destinado a la producción de material de propagación vegetativa para la realización de plantaciones forestales (Salicáceas).

## Productos:

- + **Guías:** brotes o ramas de un año de crecimiento, de longitud variable y de 2,50 a 5 cm. de diámetro promedio.
- + **Estacas:** porción de rama o guía de largo variable y diámetro no mayor a 2,5 cm.
- + **Barbados:** estaca enraizada

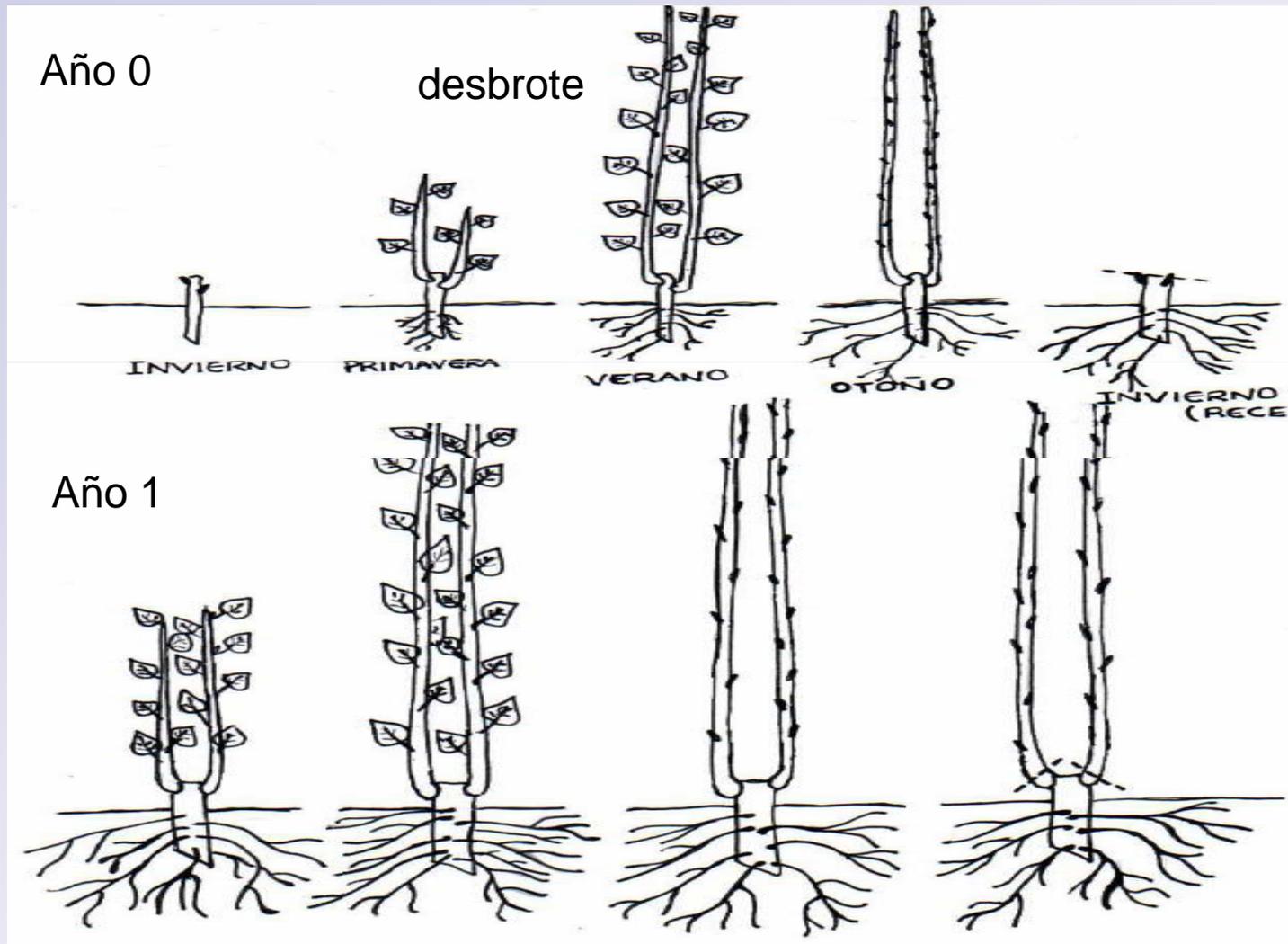


# Plantación del estaquero

- Distancia entre plantas: 0,30 a 0,70 x 0.60 a 1,50 metros entre filas
- Marcación con cables
- Plantación manual (barreta) o mecanizada
- Riegos
- Labores culturales: desmalezado, combate de plagas, desbrote, poda, fertilización y rejuvenecimiento de cepas,
- Manejo del estaquero



# Manejo del estaquero



# Manejo de cepas madres



## Cosecha guías

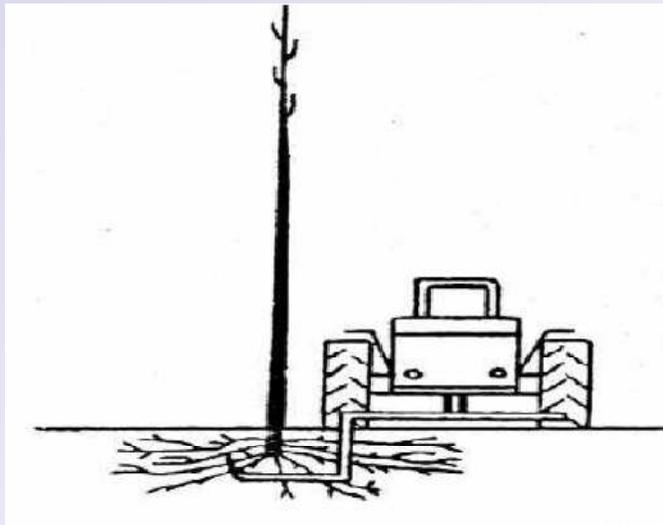


# Extracción de barbados

Manual (pala)

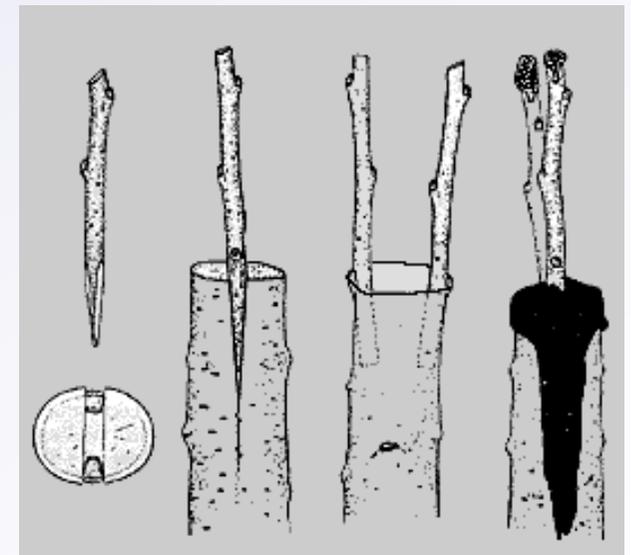


Mecanizada



# Propagación por injerto

- **Injerto:** es la unión de dos porciones de tejido vegetal de diferentes plantas para que posteriormente crezcan como una sola planta.
- **Consta de:**
  - ✓ Púa o injerto: es un pequeño trozo de rama que contiene varias yemas, originará la parte aérea de la planta
  - ✓ Patrón o pie: es la parte inferior del injerto que originará el sistema radical
  - ✓ Patrón intermedio: es una porción de tallo insertado mediante dos uniones de injerto. Se usa para evitar la incompatibilidad entre patrón y púa



# ¿Cuál es el secreto para lograr un buen injerto?

- **Para lograr un injerto exitoso es esencial que el cambium de la púa se coloque en contacto con el cambium del patrón.**

**Cambium:** es un tejido vegetal meristemático específico de las plantas leñosas, situado entre la corteza y el leño, compuesto normalmente por una capa única de células embrionarias.

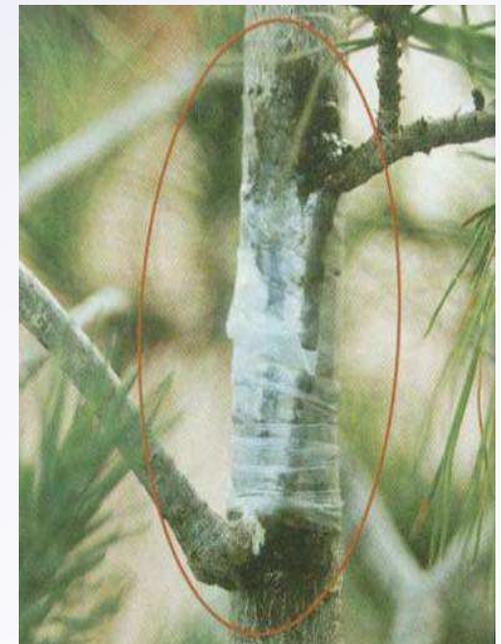
Cada año el cámbium origina dos capas de células adultas. La primera, hacia el interior, es de leño (xilema); éstas son las que forman la madera y se reconocen luego como anillos de crecimiento. La segunda, hacia afuera, es otro tipo de tejido el floema, que transporta fotoasimilados en distintas direcciones.

El cambium es responsable del ***crecimiento secundario en grosor*** de los tallos



# ¿Por qué injertar?

- 1- perpetuar clones que no se pueden mantener con facilidad por estacas, acodos u otros métodos asexuales
- 2- obtener los beneficios de ciertos patrones
- 3- acelerar la madurez reproductiva de algunos híbridos
- 4- obtener formas especiales de crecimiento



# Formación de la unión de injerto

- El tejido de la púa, con capacidad meristemática, se coloca en **contacto** con tejido similar del patrón, de manera que las regiones cambiales de ambos estén juntas. La  $t^{\circ}\text{C}$  y la humedad deben estimular el crecimiento de las células.
- Las capas externas expuestas de la región cambial tanto de la púa como del patrón producen células de parénquima que se entremezclan, formando un callo.
- Algunas células de este callo se diferencian en nuevas células cambiales.
- Estas nuevas células cambiales producen nuevo tejido vascular, xilema y floema, estableciendo así la conexión vascular entre la púa y el patrón (cicatrización).



# Síntomas de incompatibilidad

- Falla en la formación de la unión
- Clorosis y defoliación
- Muerte prematura
- Diferencias en la tasa de crecimiento entre púa y patrón
- Ruptura en la zona del injerto

# Métodos de injerto

- De ensamble (inglés o de lengüeta)
- De empalme
- De costado
- En muñón de rama
- De ensamble de costado
- De hendedura
- De cuña
- De corteza
- De aproximación
- Puente de injerto

La púa es un pedazo de tallo con varias yemas

- De yema

Se usa una sola yema y una pequeña sección de corteza

## Ejemplos de árboles propagados por injerto:

- Acer (de púa y de yema)
- Celtis (de púa y de yema)
- Cupressus (enchapado de costado)
- Juniperus (enchapado de costado)
- Eucalyptus (cuña de costado)
- Fraxinus (de púa o de yema)
- Magnolia (enchapado de costado)
- Picea
- Pinus (enchapado de costado)
- Quercus (de hendedura o de corteza)
- Taxus (de costado)
- Thuja (de costado)



# Propagación por acodos

- **Acodo:** es un método de propagación mediante el cual se provoca la formación de raíces adventicias en un tallo que está todavía adherido a la planta madre. El tallo enraizado se separa para convertirse en una nueva planta
- **Puede ser:**
  - ✓ Aéreo
  - ✓ Subterráneo



↑  
Ejemplo de corte

Estimulación de enraizamiento



# Factores que afectan la propagación por acodos

- Nutrición: al estar adherido a la planta madre es provisionado continuamente de agua y nutrientes
- Tratamientos al tallo: la curvatura que se realiza al tallo genera una interrupción en la traslocación de hidratos de carbono, auxinas, etc. que provocan el enraizamiento
- Exclusión de la luz
- Acondicionamiento fisiológico asociado con la época del año
- Rejuvenecimiento: uso de reguladores de crecimiento

# Usos del acodo

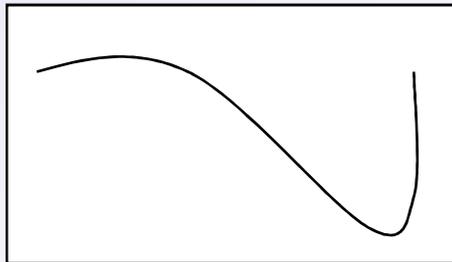
- Propagación de aquellas plantas que se reproducen naturalmente por acodos (frambuesa, zarzamora)
- Propagación de clones de plantas que no enraizan con facilidad pero son suficientemente valiosas como para justificar el costo (avellanos, ciertas vides, ciertos frutales tropicales)
- Para producir plantas de tamaño grande en un tiempo corto, con un mínimo de instalaciones

# Procedimiento para el acodamiento

## ■ Acodamiento de punta:

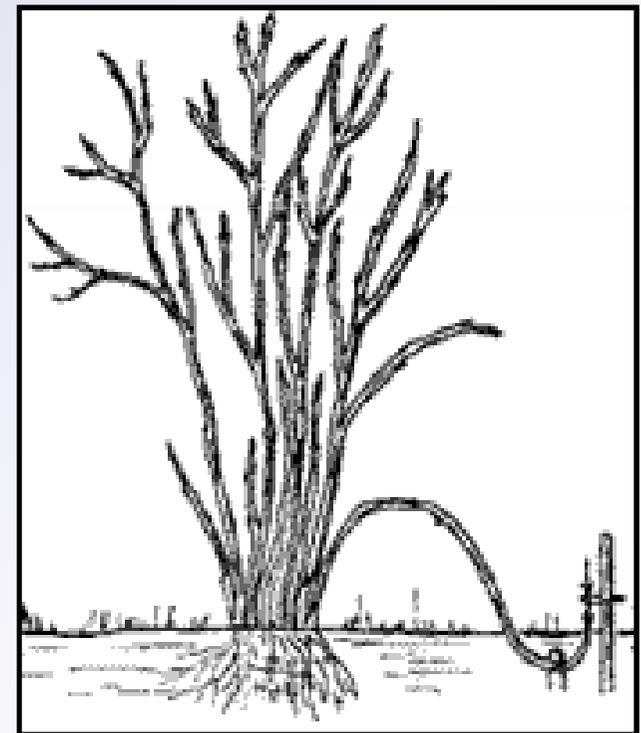
Es el método natural de las frambuesas. Las varas jóvenes vigorosas se despuntan en el verano para estimular el n<sup>o</sup> de acodos y la fructificación del año siguiente. Cuando empiezan a encorvarse adquieren un aspecto de “cola de rata”, el enraizamiento se produce cerca de la punta de crecimiento. La punta de la rama se encorva hacia arriba para producir una vuelta pronunciada en el tallo, de la cual se desarrollan las raíces.

Las puntas se acodan a mano, haciendo un hoyo inclinado y se tapa. Al colocarlas así se forman raíces y desarrolla un brote vertical



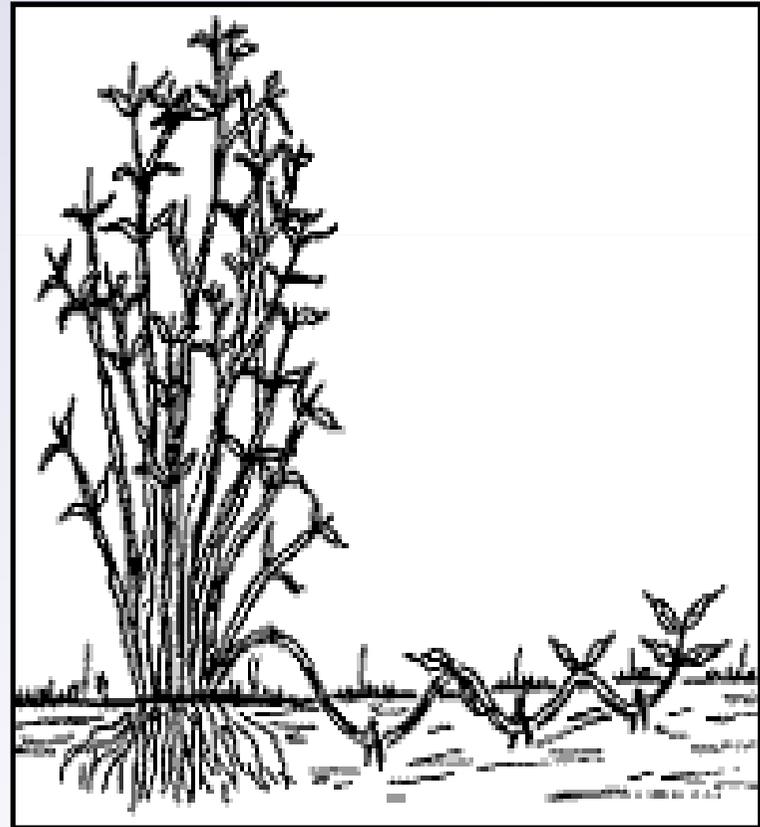
# Procedimiento para el acodamiento

- **Acodado simple:** se usan ramas bajas y flexibles que se puedan doblar con facilidad. Así se propagan los avellanos. Las ramas se doblan hasta el suelo y se vuelven a doblar, se cubren con tierra y se mantienen en su lugar con un alambre. Se puede lesionar la parte enterrada para estimular el enraizamiento.



# Procedimiento para el acodamiento

- **Acodado compuesto:** es igual al simple, excepto que la rama es cubierta y expuesta alternadamente con lo cual es posible obtener varias nuevas plantas de una sola rama.



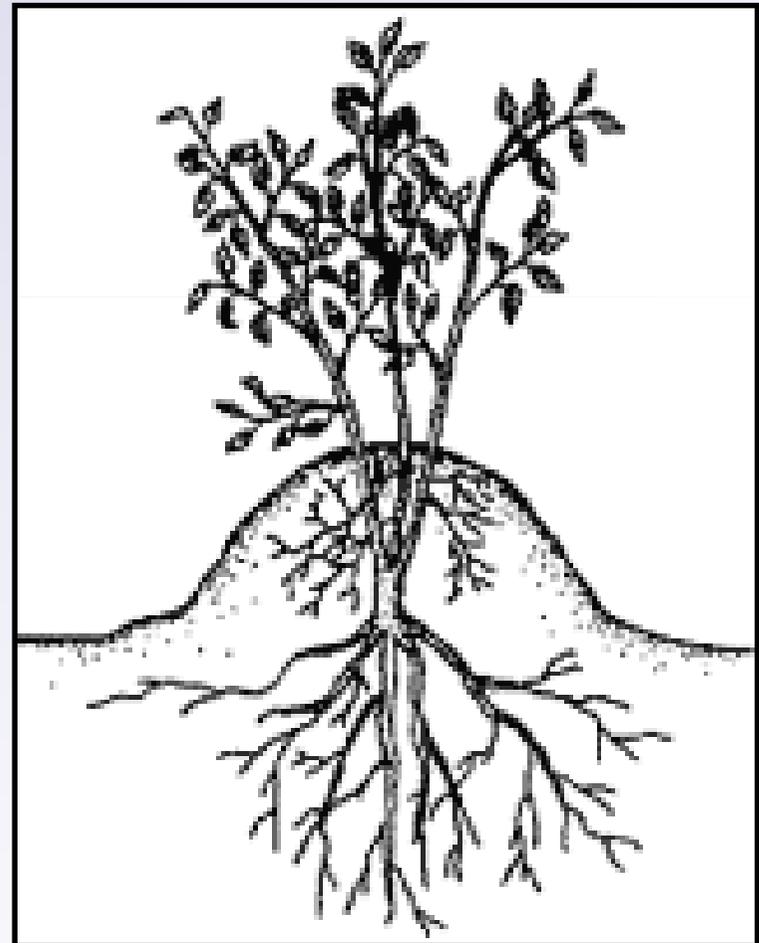
# Procedimiento para el acodamiento

- **Acodo aéreo:** se usa para propagar diversos árboles y arbustos tropicales. La presencia de muchas hojas activas acelera la formación de raíces. El 1er paso es cortar la corteza, a la herida se le pone AIB, se cubre con musgo húmedo y después con polietileno. Cuando se forman las raíces, se separa de la planta madre (2 a 3 meses).



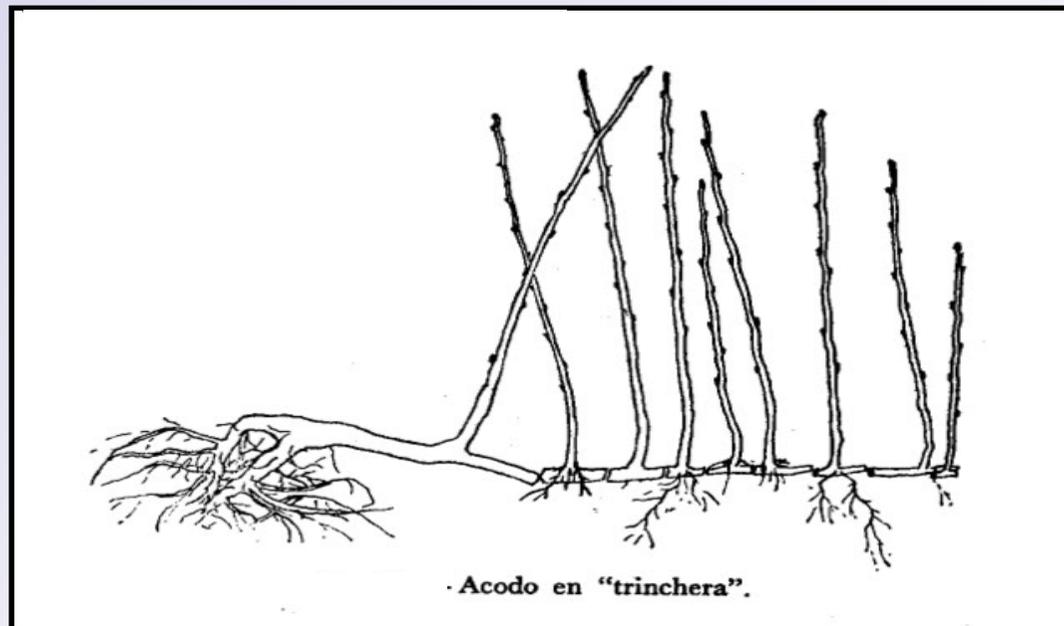
# Procedimiento para el acodamiento

- Acodo en montículo: se usa comercialmente en manzano y peral



# Procedimiento para el acodamiento

- Acodo en trinchera: consiste en cultivar una planta o una rama en posición horizontal y cubrir con tierra los brotes nuevos para que se ahilen. En la base de los nuevos brotes se desarrollan raíces.



## Ejemplos de árboles propagados por acodo:

- Magnolia (simple o en montículo)
- Pinus (aéreo)

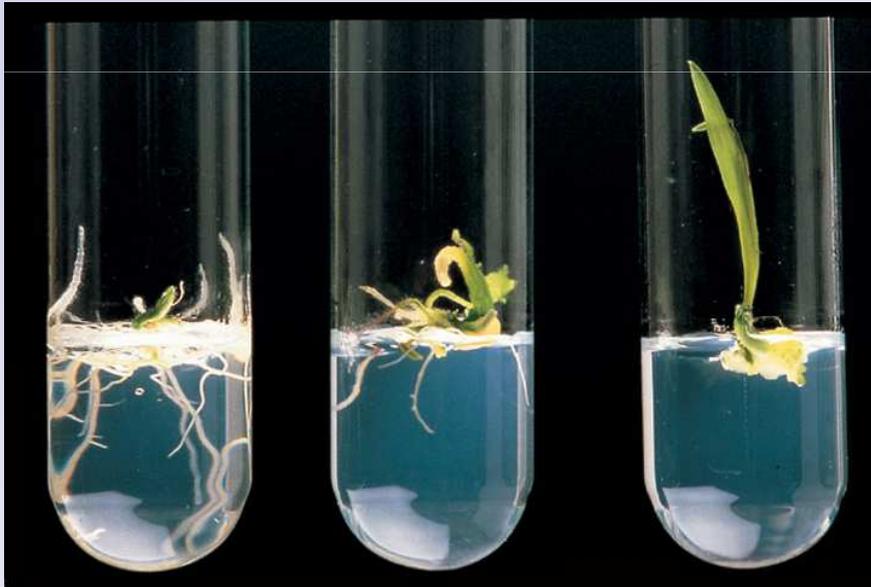
# Micropropagación

- Es una de las técnicas que forman parte del cultivo de tejidos vegetales *in vitro*.

Pierik (1987) define cultivo *in vitro* de plantas superiores como:

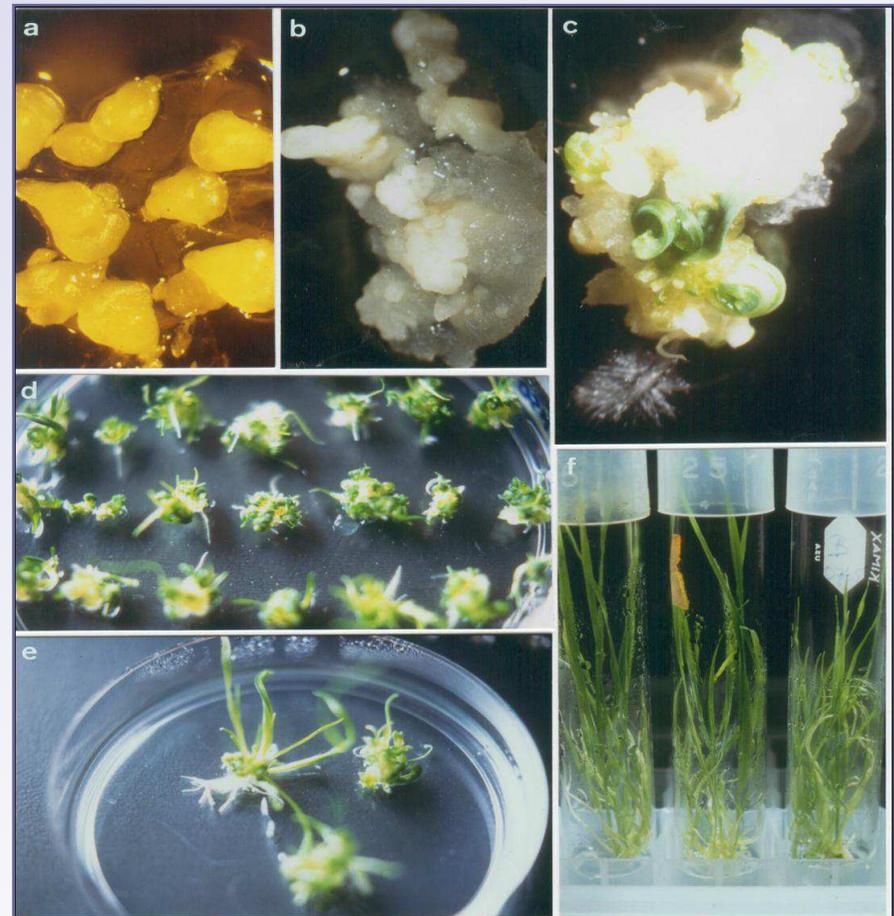
*El cultivo en un medio nutritivo, bajo condiciones estériles y artificiales, de plantas, semillas, embriones, órganos, tejidos, células y protoplastos.*

# cultivo *in vitro*



# Totipotencia: diferenciación y desdiferenciación celular.

- El ciclo de vida de las células vegetales, gracias a su **TOTIPOTENCIA**, puede modularse mediante la aplicación de fitohormonas para poder regenerar plantas asexualmente.



# laboratorio de cultivo de tejidos



# Condiciones para lograrlo

- Control del ambiente:

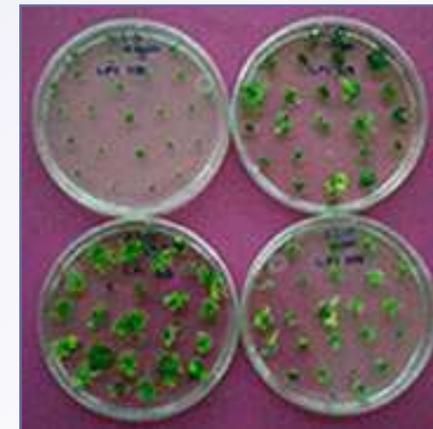
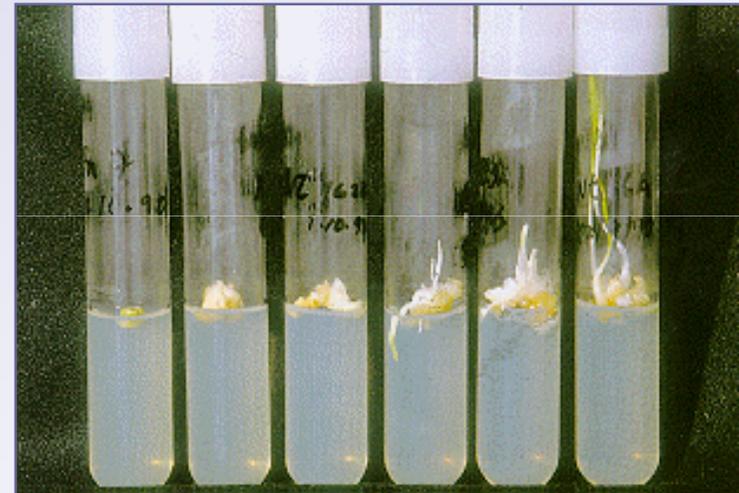
El ambiente químico: medio de cultivo

El ambiente físico: cámara de crecimiento

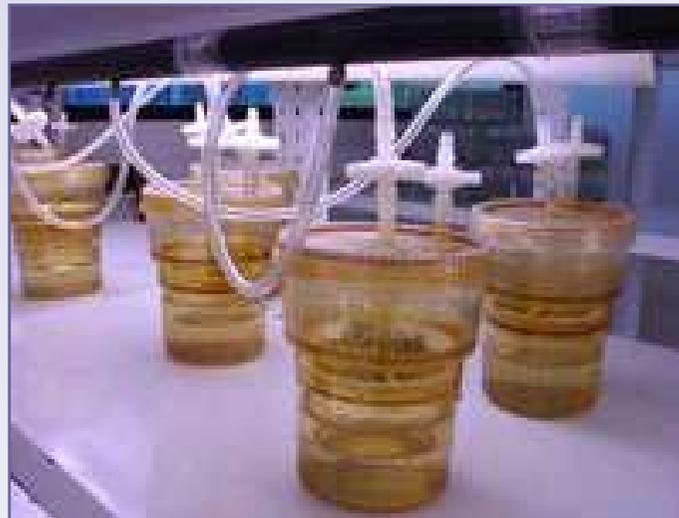
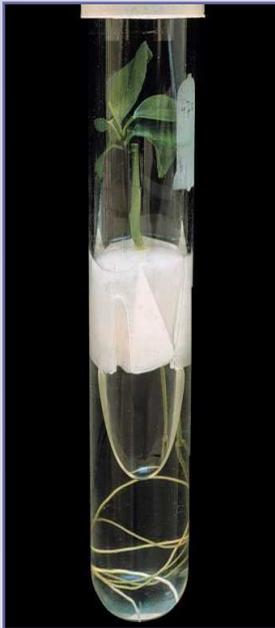


# Medios de cultivo: tipos

Sólido



Líquido



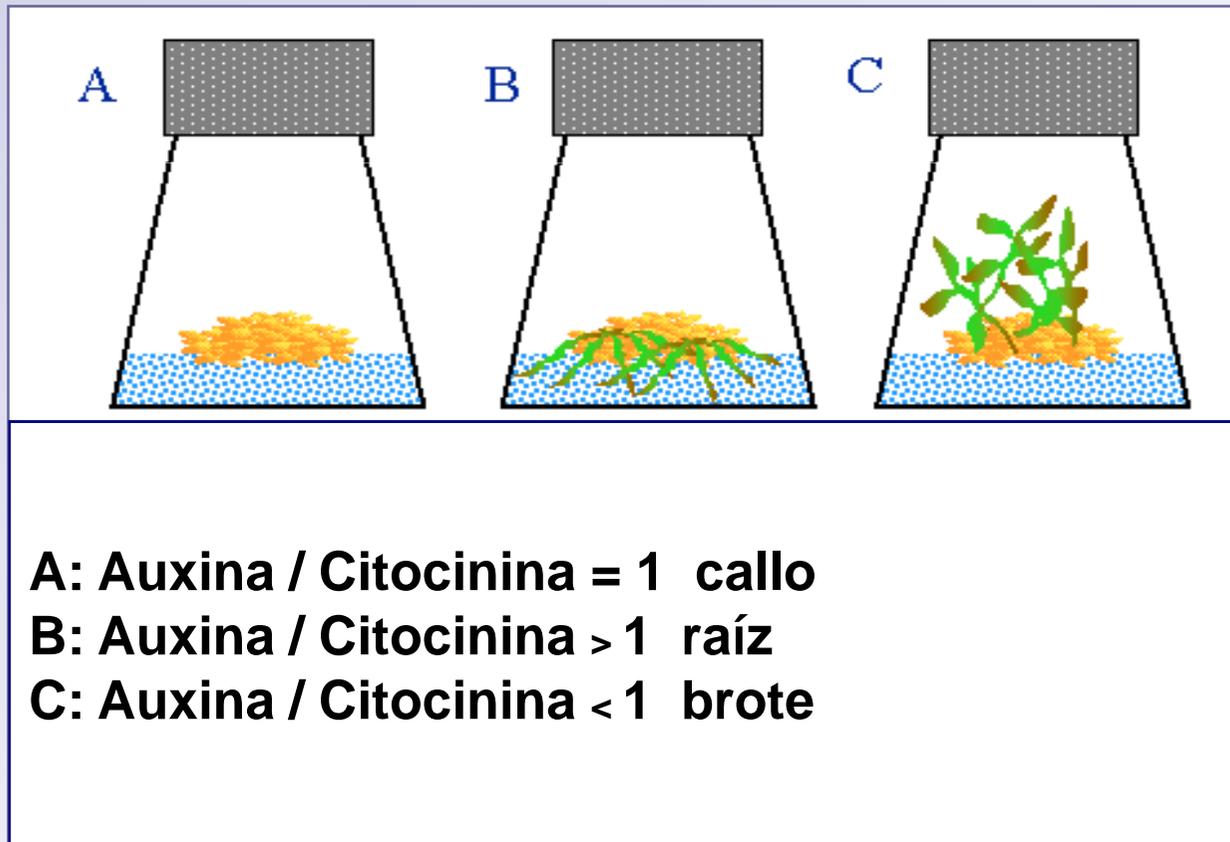
# MEDIO DE CULTIVO

El medio de cultivo es la combinación sólida o líquida de nutrientes y agua. Usualmente incluye sales inorgánicas ( $\text{KNO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{KPO}_4\text{H}_2$ ,  $\text{KI}$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CoCl}_2$ ) carbohidratos, vitaminas y aminoácidos.

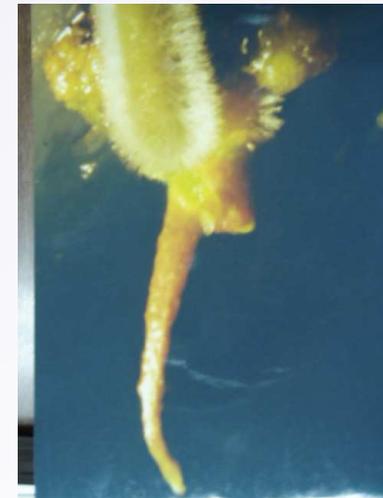
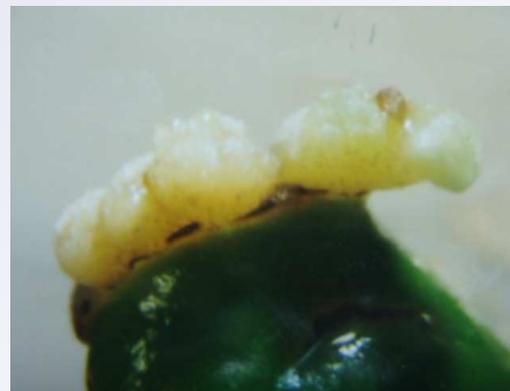
Se denomina Medio Basal y puede ser suplementado con algún regulador de crecimiento (auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico) y ocasionalmente con otras sustancias orgánicas (extracto de levadura, caseína).

# Uso de Hormonas y Reguladores

- Importancia del balance hormonal



# Callos, brotes y raíces



# Medios de cultivo:

- **Control de pH:**

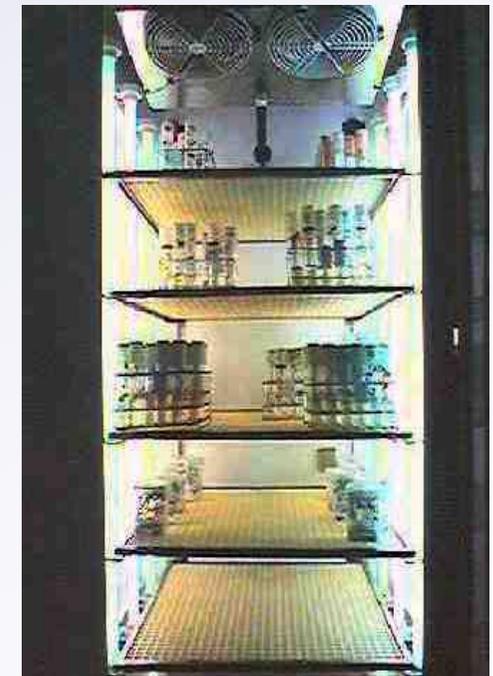
- solidificación de los agentes gelificantes
  - solubilidad de algunos componentes
  - absorción de determinados nutrientes
  - actividad de muchas enzimas

- **Esterilización:**

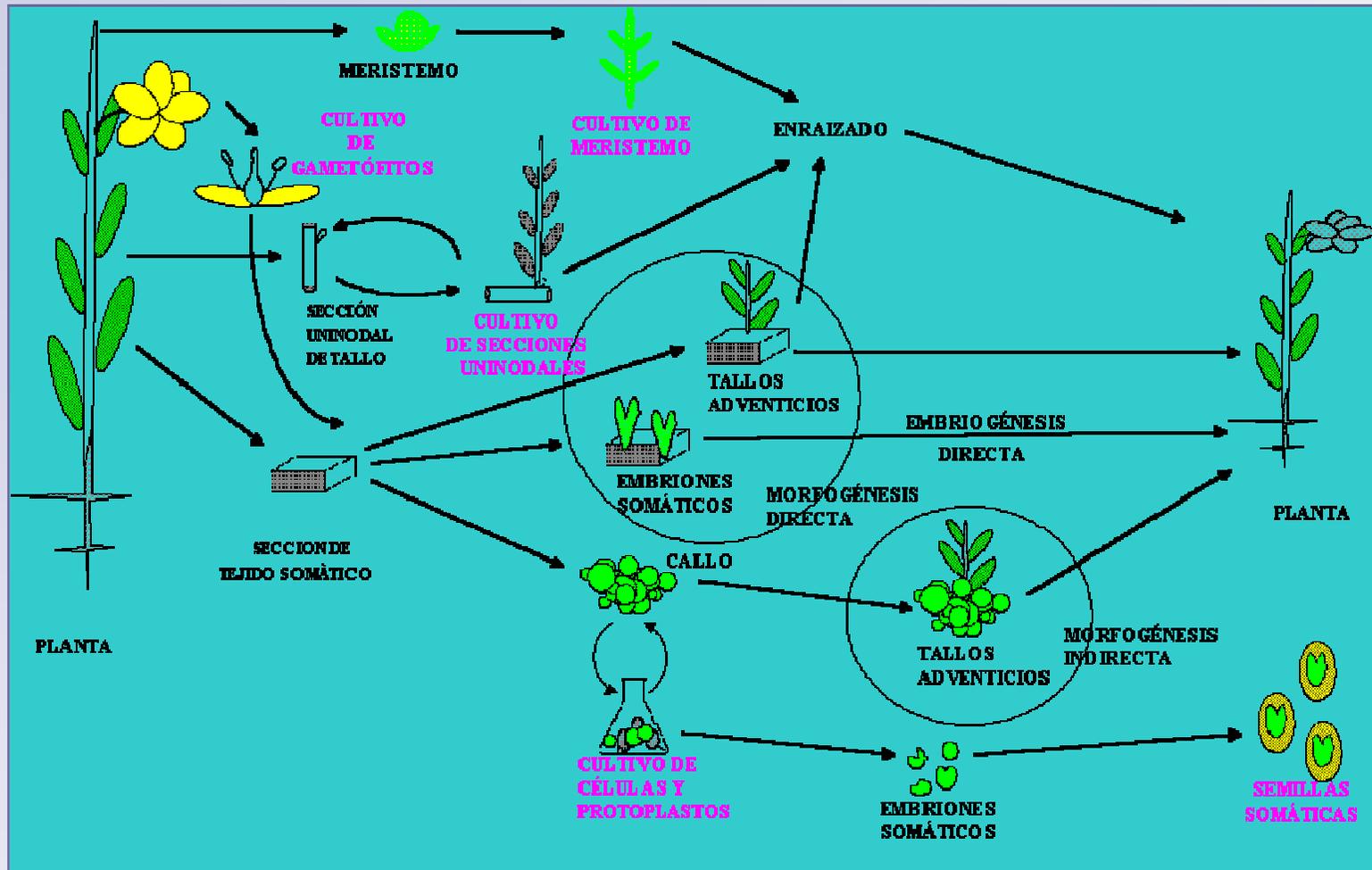
- Autoclavado de sustancias termoestables

# El ambiente físico: cámara de cultivo

- Temperatura
- Luz:
  - Calidad
  - Cantidad
  - Fotoperíodo



# TIPOS DE CULTIVOS *IN VITRO*



Modificado a partir de Lindsey y Jones, 1989, en Plant biotechnology in agriculture. Open University Press, Wiley, Chichester, p 59

# Morfogénesis

- **Organogénesis:** formación de órganos (tallos y raíces)
  - Directa
  - Indirecta (callo)
- **Embriogénesis:** formación de embriones somáticos
  - Directa
  - Indirecta (callo)

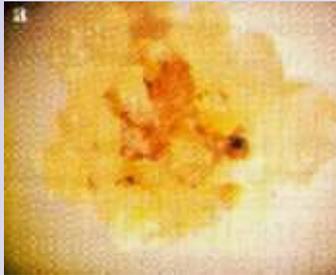


# Embriogénesis somática

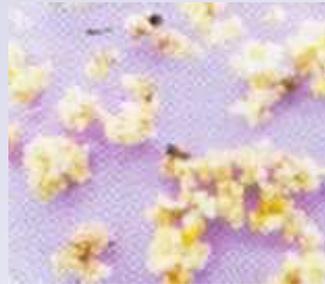
## ETAPAS

- Inducción: formación de masas proembriónicas, con auxinas
- Histodiferenciación: embriones en estadio globular, de corazón, de torpedo, sin auxinas
- Maduración: embriones en estado cotiledonar, con ABA, desecación
- Germinación

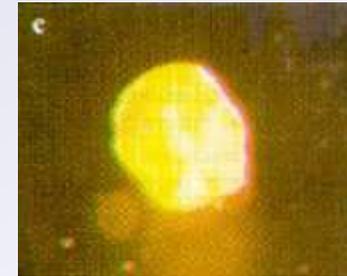
# Embriogénesis somática



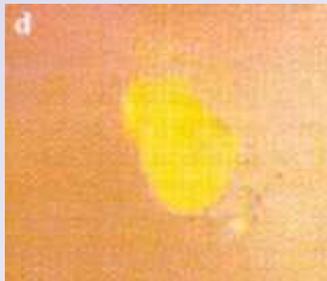
Callo embriogénico



embriones



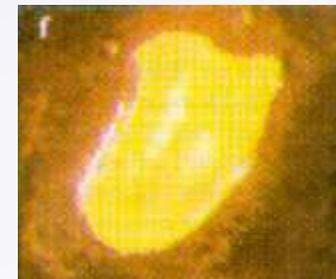
Embrión en estado globular



Embrión en estado de corazón



Embrión en estado de torpedo



Embrión en estado cotiledonar

# Embriogénesis somática semilla artificial



Embriones maduros encapsulados en alginato de sodio

# Aplicaciones del cultivo de tejido

Clonación: Micropropagación

Conservación del germoplasma: Crioconservación.

Sanidad Vegetal: \*Las plantas no tienen sistema inmune.  
\*Termoterapia seguida de cultivo de ápices

Producción de metabolitos secundarios.

- \*Productos farmacológicos.
- \*Cultivo del órgano que produce la sustancia en reactores.
- \*Alteración del gen para que se produzca metabolito deseado.

Mejora genética

- \* Producción de haploides
- \* Hibridación somática
- \* Variación somaclonal
- \* Organismos genéticamente modificados (OGM)

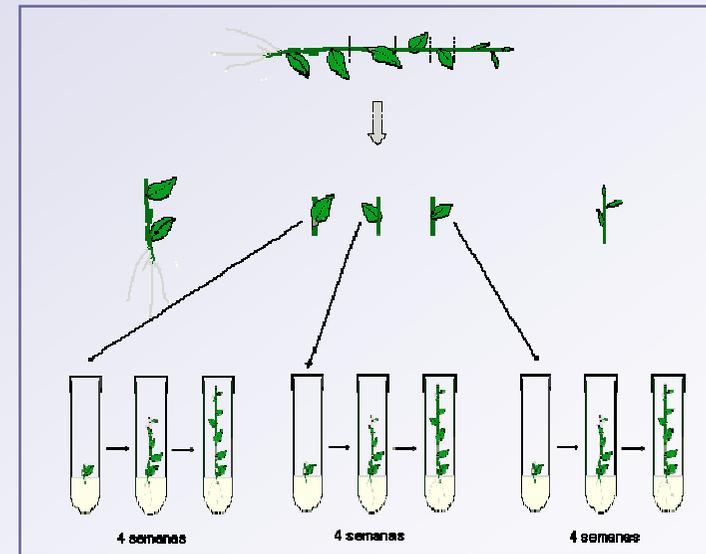


# Aplicaciones del cultivo *in vitro*

## Clonación

### Micropropagación:

Utilización de las técnicas de cultivo *in vitro* aplicadas a la propagación vegetativa de plantas en forma masiva



# MICROPROPAGACIÓN

- La Micropropagación incluye varias fases:

FASE 0 : Preparación de la planta madre

FASE I : Establecimiento del cultivo en condiciones de asepsia

FASE II : Multiplicación de brotes

FASE III : Enraizamiento

FASE IV: Aclimatación



# MICROPROPAGACIÓN

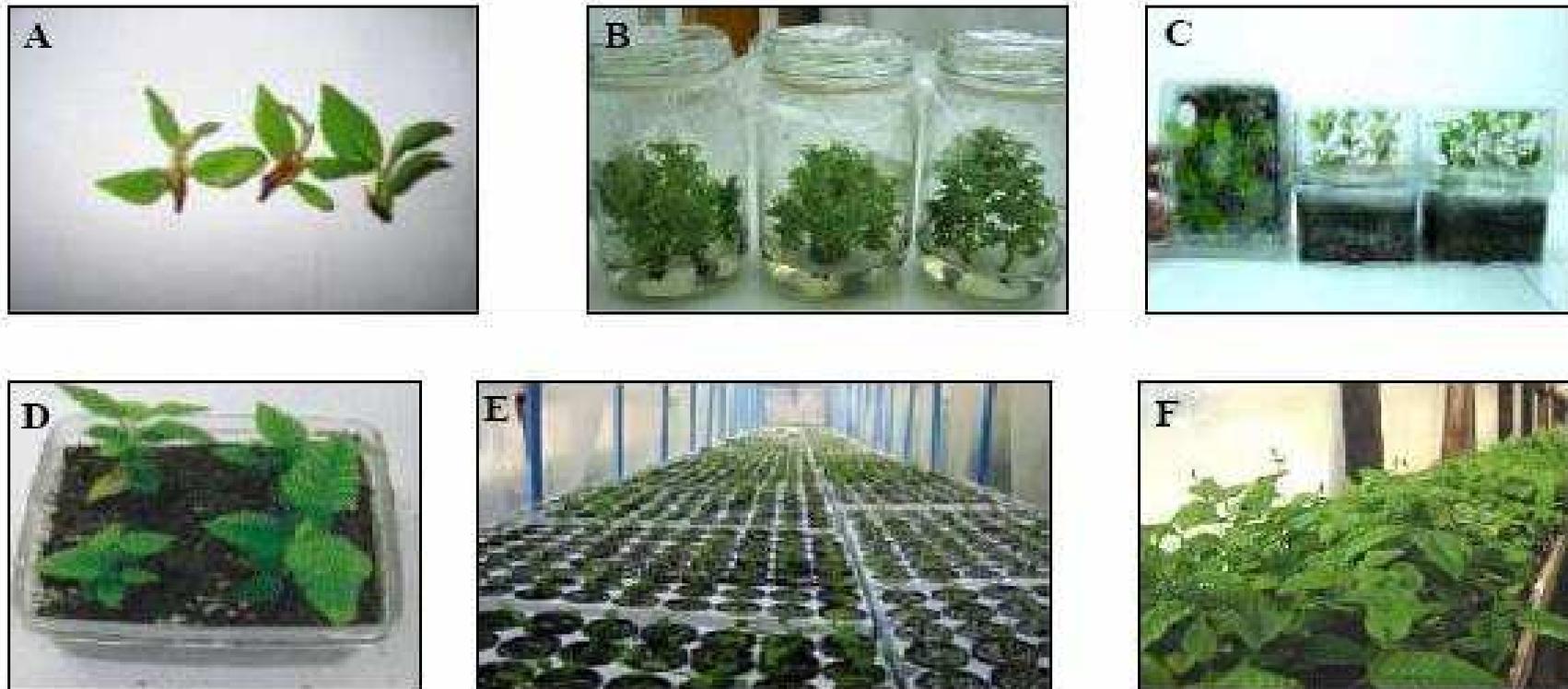


Figura 1. Etapas del proceso de micropropagación de rauli. A) explante inicial: brotes apicales; B) multiplicación de brotes; C) etapa de pre-aclimatación en laboratorio; D) plantas a transferir a invernadero; E) plantas bajo túnel plastificado en invernadero para mantener alta humedad; F) plantas después de tres meses en invernadero.

Figure 1. Stages of the rauli micropropagation process. A) initial explant: apical shoots, B) shoot multiplication; C) laboratory pre-acclimation stage; D) plants to be transferred to the greenhouse; E) plants under plastic tunnel in greenhouse to maintain high humidity; F) plants after three months in greenhouse.

# FASE 0: PREPARACIÓN DE LA PLANTA MADRE

- Para poder establecer el cultivo en condiciones de asepsia, se deben obtener explantos con un nivel nutricional y un grado de desarrollo adecuado



# FASE I: ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO EN CONDICIONES DE ASEPSIA

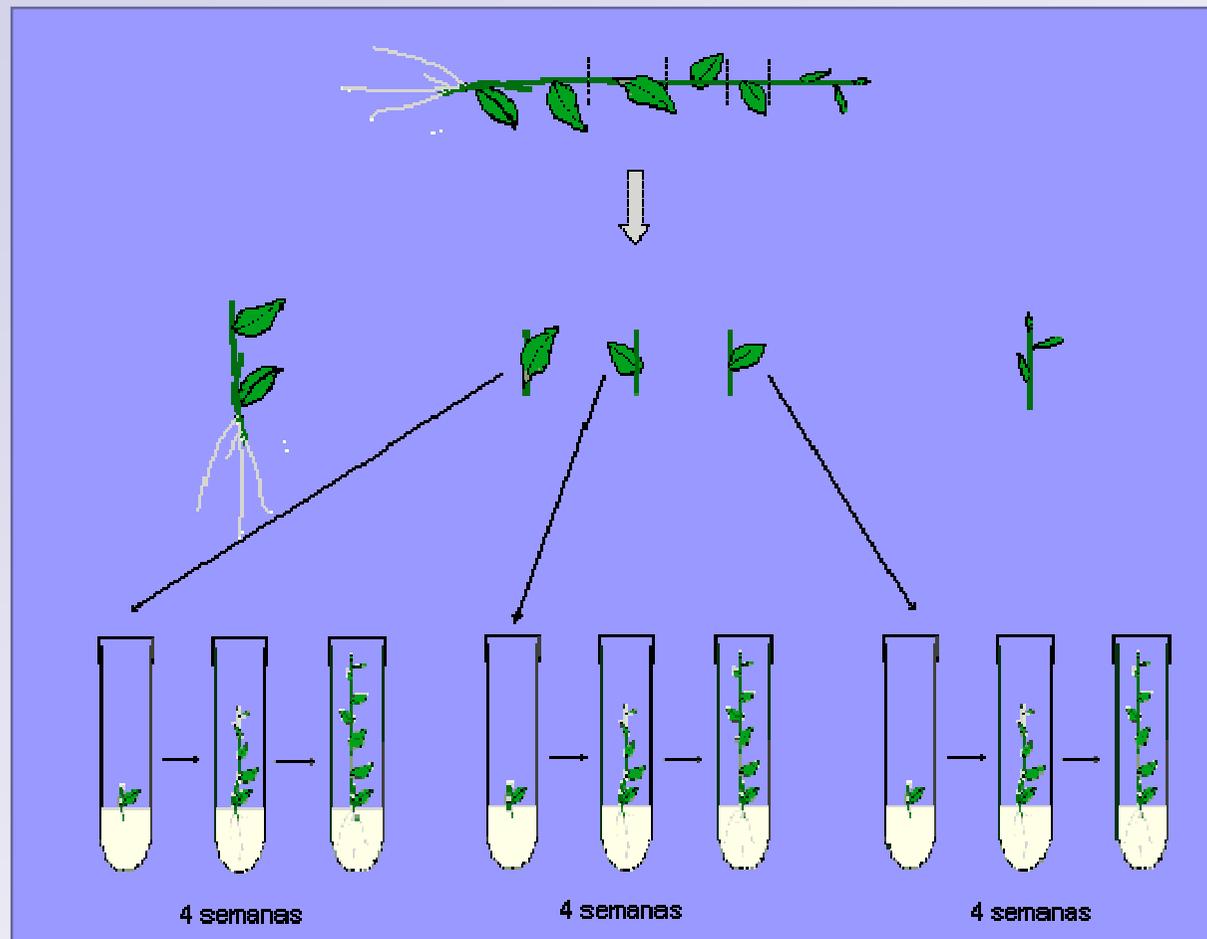
- Lavado del material con agua corriente, Eliminación de las partes muertas e infectadas de la planta.
- Introducción de la porción de planta en alcohol diluido al 80% durante unos segundos.
- Sumergir la planta en una solución de hipoclorito de sodio o Ca con un agente humectante durante 10-30 minutos.
- Enjuague del material con agua estéril para eliminar la solución de hipoclorito de sodio. El enjuague debe tener lugar bajo condiciones de asepsia, y suele realizarse en tres veces sucesivas de unos 2 minutos cada una.

# Siembra en condiciones de esterilidad



Campana de flujo laminar

# FASE II: MULTIPLICACIÓN DE BROTES

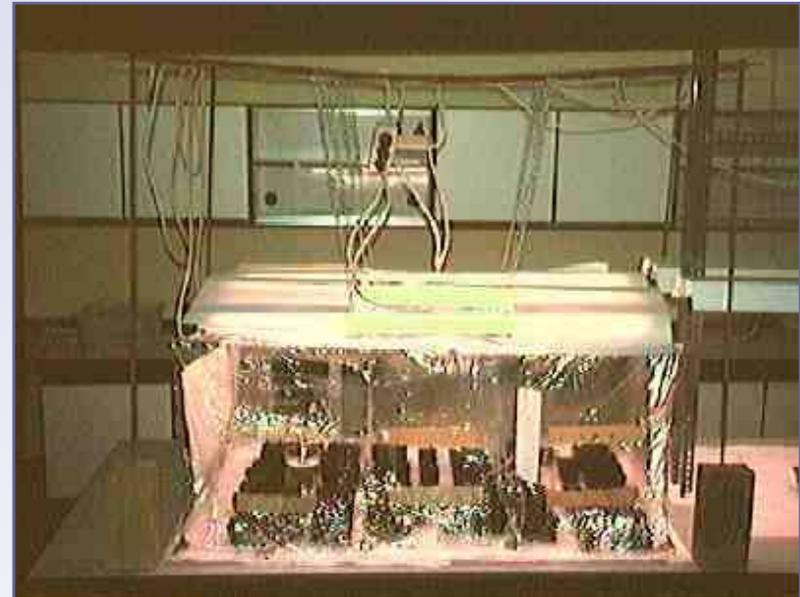
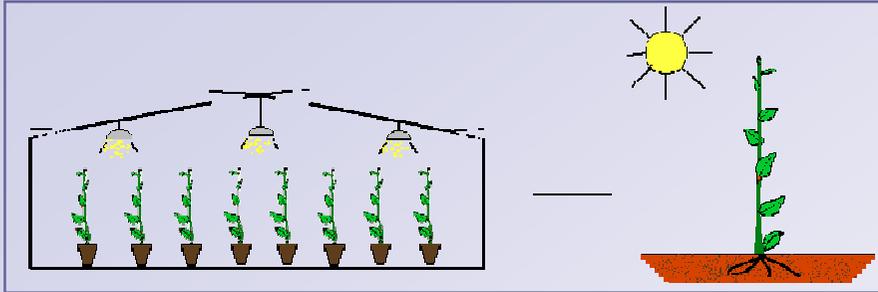


# FASE III: ENRAIZAMIENTO DE EXPLANTOS

Se transfieren los brotes obtenidos durante la fase de multiplicación a un medio libre de reguladores de crecimiento o que solo contenga auxinas.



# FASE IV: ACLIMATACIÓN



## Ejemplos de árboles propagados por micropropagación:

- Paulownia
- Tectona
- Malus (microinjerto y proliferación de ápices)
- Pseudotsuga (por yemas adventicias y protoplastos)
- Populus (proliferación de ápices)

