

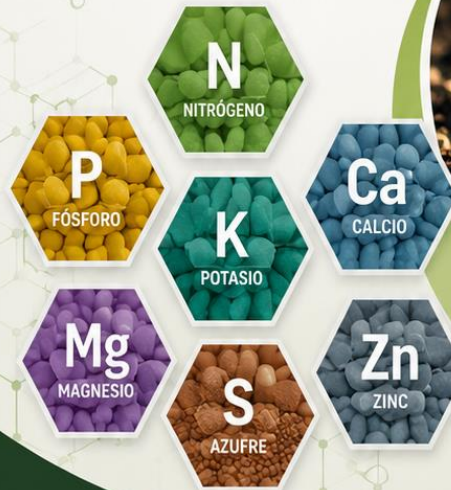
BIOLOGÍA VEGETAL



NUTRICIÓN MINERAL DE LOS CULTIVOS



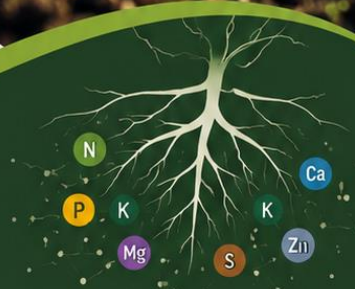
*Fundamentos, funciones
y manejo de los nutrientes
para una producción eficiente
y sostenible*



NUTRICIÓN
VEGETAL

SUELO
PLANTA

PRODUCTIVIDAD
SOSTENIBILIDAD



Ing. Agr. Carina Ibañez

CULTIVO

COMPONENTES QUE INTERVIENEN EN LA FORMACIÓN DEL RENDIMIENTO



COMPONENTES ABIOTICOS

- Agua 
- Luz 
- O₂
- CO₂
- Nutrientes
- Temperatura 
- pH



ELEMENTO MINERAL

- Sustancia homogénea, de origen **inorgánico** (exceptuando el H_2O), de composición química definida
- Las plantas lo obtienen, en general, del suelo. Es absorbido por las raíces y distribuido por el xilema.



Compuestos inorgánicos

FUENTES MINERALES

- SUELO 
 - Materia orgánica (mineralización)
 - Roca madre (fracción mineral del suelo)
- AIRE 
 - Fijación biológica
 - Precipitación
- HOMBRE  Fertilización



MATERIA ORGANICA



- Proviene de cuerpos de seres vivientes contiene casi todos los nutrientes que los cultivos necesitan en cantidades variables.
- Los nutrientes se hacen asimilables al descomponerse ó “mineralizarse” la MO

FERTILIDAD POTENCIAL VS FERTILIDAD ACTUAL

SUELO

Factores que influyen en la disponibilidad de nutrientes y su absorción por las plantas:

- **Temperatura**
- **Humedad**
- **pH (acidez – Alcalinidad)**
- **Resistencia mecánica (textura del suelo)**



MACRONUTRIENTES

(> 0.1% del PS)

- Nitrógeno (N)
- Fósforo (P)
- Potasio (K)

MESONUTRIENTES (0.01-0.1 % del PS)

- Calcio (Ca)
- Magnesio (Mg)
- Sodio (Na)
- Azufre (S)

MICRONUTRIENTES

(< 0.01% del PS)

- Aluminio (Al)
- Boro (B)
- Cobre (Cu)
- Hierro (Fe)
- Manganeso (Mn)
- Molibdeno (Mo)
- Selenio (Se)
- Zinc (Zn)

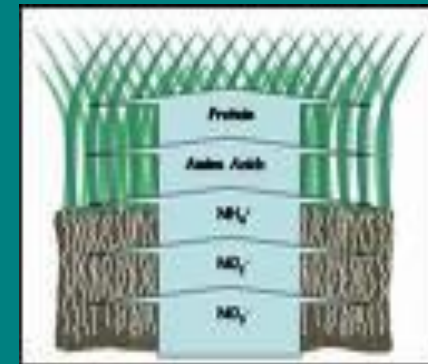
NITROGENO (N)

- 78% de N como gas en la atmósfera



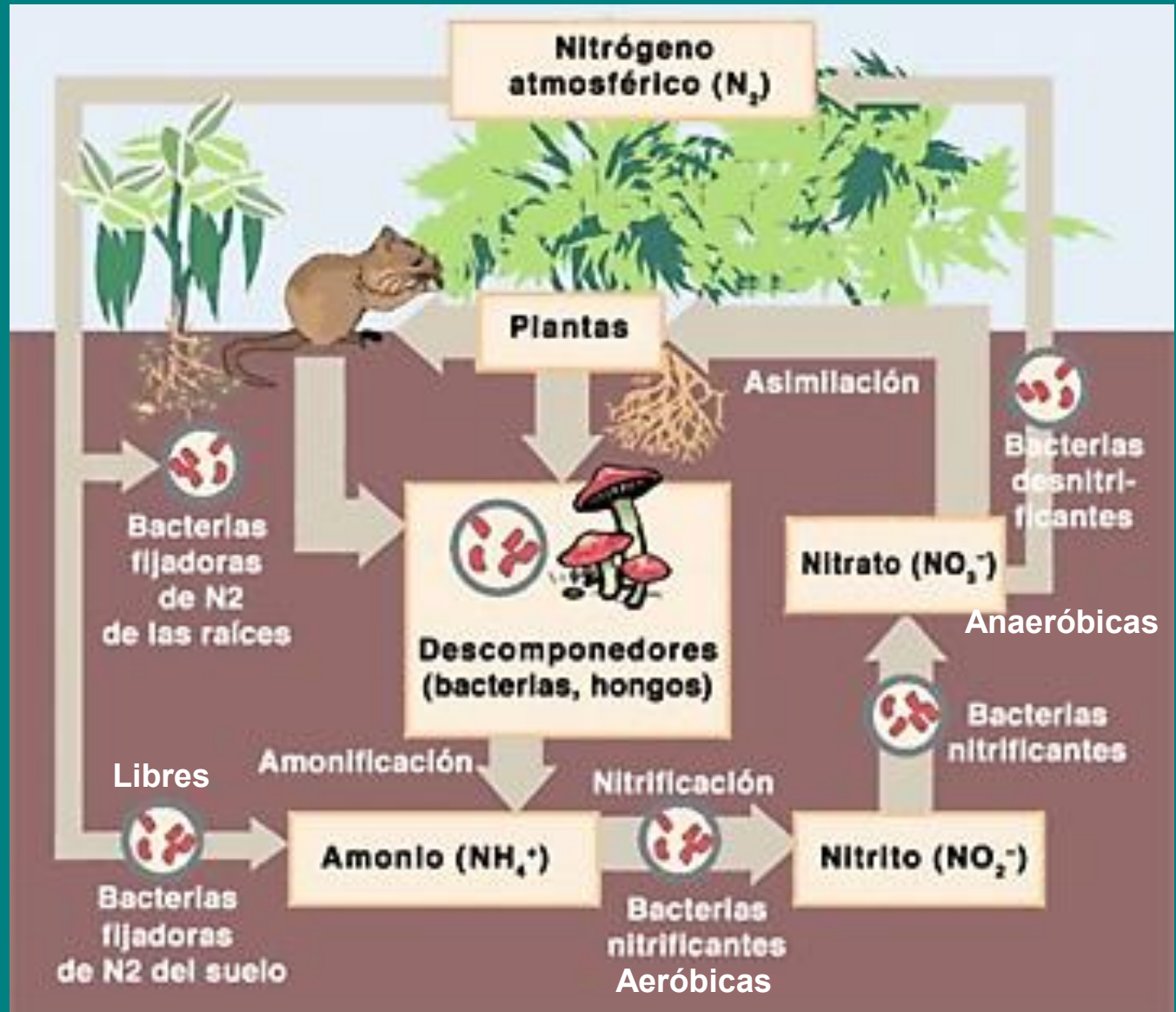
(J. Hassell, Agrotain, USA).

- Absorción como nitrato (NO_3), nitrito (NO_2) ó ion amonio (NH_4)⁺. Es **MÓVIL** en el suelo
- Elemento constituyente principalmente de proteínas, ácidos nucleicos.
- El 70% del N de la hoja está en los cloroplastos > síntoma de deficiencia de N > Clorosis en las hojas
- Elemento MÓVIL en la planta (al envejecer los órganos, se degradan las proteínas, siendo redistribuidos y reutilizados los aa liberados)



CICLO DEL NITRÓGENO

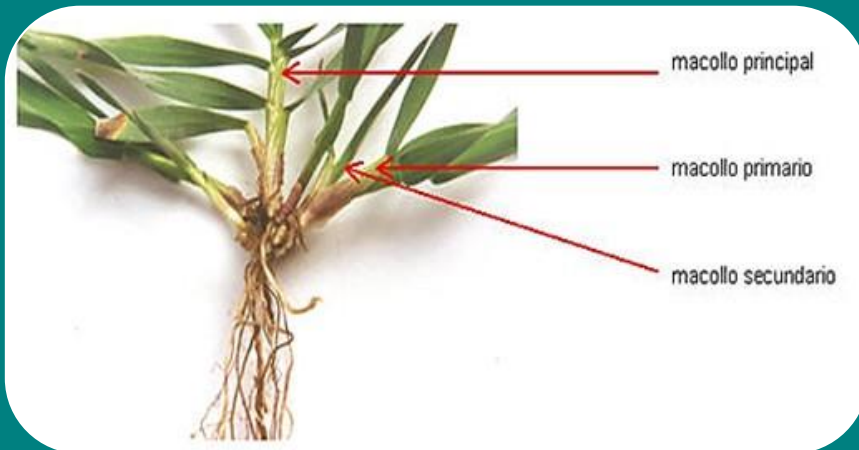
El N cambia constantemente por acción de los microorganismos



NITROGENO (N)



- Síntomas de CARENANCIA
 - Menor crecimiento del área FOLIAR
 - Afecta primero hojas INFERIORES (las más viejas)
 - Hojas color verde pálido a amarillas, incluyendo las NERVADURAS
 - Prolongación de la dormición de las yemas
 - Supresión del macollaje



NITÓGENO (N)

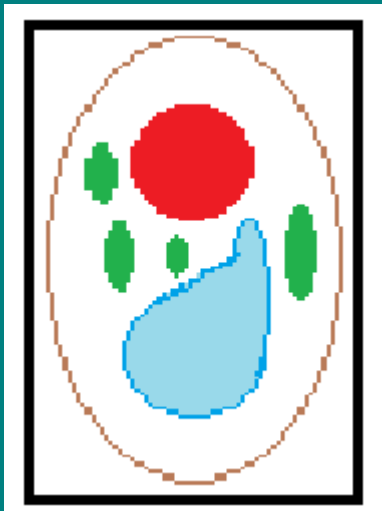
- Síntomas de EXCESO

- Crecimiento exagerado, de color verde intenso
- Absorción excesiva > CONSUMO DE LUJO > plantas débiles con follaje muy tierno y sistema radicular pequeño, susceptibles al vuelco y al ataque de plagas y enfermedades
- Escasa floración
- Flores incompletas (sin estambres ó pistilos), caída de flores y frutos
- Afecta la absorción de otros nutrientes

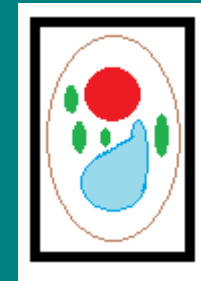


EFECTO DEL FERTILIZANTE A NIVEL CÉLULAR

- Célula con exceso
exceso



Célula sin



FÓSFORO (P)

- Función importante en el metabolismo energético de la planta > forma parte del ATP y ADP (nucleótidos), de los fosfolípidos de las membranas celulares y algunas coenzimas
- Es absorbido como ion fosfato di-ácido (PO_4)
- Tiene una ALTA MOVILIDAD en la planta
- BAJA MOVILIDAD en el suelo

FÓSFORO (P)

- **Síntomas de CARENANCIA**

- Afecta mayormente el desarrollo RADICULAR > tallos delgados, menor crecimiento de toda la planta, hasta enanismo.
- Supresión del macollaje, menor floración y cuajado de frutos.
- Hojas de color rojo bronceado ó púrpura (acumulación de antocianinas), llegando a secarse. Comienza en las hojas INFERIORES

- **EXCESO**

- Puede producir retraso en la absorción y traslocación de algunos micronutrientes (Zn, Fe, Cu)



POTASIO (K)

- SE ENCUENTRA EN GRANDES CANTIDADES EN TODAS LAS PARTES DE LA PLANTA, EN FORMA **SOLUBLE**. NO FORMA PARTE CONSTITUTIVA DE SUSTANCIAS DE IMPORTANCIA.
- **ACTIVADOR ENZIMÁTICO** (SE REQUIERE EN ALTAS CANTIDADES POR SU BAJA AFINIDAD)
- **PROMUEVE LA SÍNTESIS DE HIDRATOS DE CARBONO > INCREMENTA LA RESISTENCIA AL FRÍO (> ELASTICIDAD DE PC) Y ENFERMEDADES (PC MÁS GRUESAS).**
- **ACTÚA EN EL MECANISMO DE CIERRE Y APERTURA DE LOS ESTOMAS > REGULA LAS CONDICIONES DEL AGUA DENTRO DE LA PLANTA > RESISTENCIA A LA SEQUÍA**
- **ELEMENTO MUY MOVIL EN AL PLANTA**

POTASIO (K)



- **Síntomas de CARENCIA**
 - Leves: tallos finos, con entrenudos cortos
 - Agudas: plantas enanas, con muchos macollos, pocos tallos floríferos, pocos frutos y pequeños
 - Reducción de la FLORACIÓN y FRUCTIFICACIÓN
 - Amarronamiento marginal en las puntas de las hojas viejas. En déficits agudos, afecta también los brotes nuevos
 - Susceptibilidad a sequía, frío y enfermedades



MESONUTRIENTES

- **Calcio (Ca)**

- Es requerido para la elongación y división celular. Estructura y estabilidad de las membranas
- Rol impotrante en la absición y senescencia de las hojas.
- Deficiencias

- < crec. meristemático (ápices y hojas jóvenes)
- Zonas de tejido muerto (necrosis) en brotes y frutos. Ej Bitter Pitt en manzana, podredumbre apical del tomate y el melón.



MESONUTRIENTES

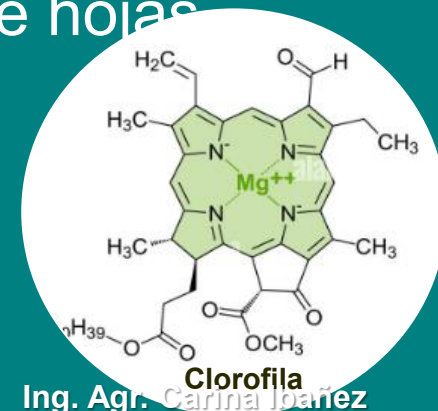


- **Magnesio (Mg)**

- Constituyente de la clorofila (fotosíntesis)
- Relacionado con los ribosomas

- Deficiencias

- Amarillamiento entre los nervios y en los bordes en hojas viejas, quedando un triángulo verde en la base
- Luego afecta hojas jóvenes y caída de hojas
- Mucho K en el suelo puede provocar deficiencia relativa de Mg



MESONUTRIENTES

- **Azufre (S)**

- Forma parte de aminoácidos esenciales (metionina y cisteína)
- Forma compuestos aromáticos volátiles (olor de la cebolla, ajo, repollo)
- Deficiencias
 - Es poco frecuente, se presenta como clorosis general, muy parecida a los síntomas de carencia de N
- Exceso
 - Inhibe la F! y provoca la destrucción de la clorofila.
 - Puede deshidratar y decolorar los tejidos



MESONUTRIENTES

- **Sodio (Na)**

- Forma parte de enzimas. Puede remplazar al potasio en las enzimas que intervienen en la síntesis del almidón.
- Estimula el crecimiento de las plantas a través del alargamiento celular.
- Está relacionada con el K (bomba de Na/K)
- Deficiencias
 - clorosis y necrosis. Impide la formación de flores.

MICRONUTRIENTES

- **Fe**
 - Esencial en la S! de clorofila
 - Presente en enzimas. Su deficiencia produce clorosis en hojas terminales (nervaduras permanecen verdes) y frutos
- **Cu**
 - Activador de muchas enzimas. Su déficit se manifiesta por marchitamiento y muerte de ápices de las hojas
 - Muy baja movilidad (70% del total del Cu en los cloroplastos)
- **Mo**
 - Sistemas enzimáticos de la fijación del N y reducción de NO_3^- > Su def provoca deficiencias de N > Síntomas correspondientes
 - Muy baja movilidad en la planta
 - Su exceso tiene efecto antagónico con el Cu
- **B**
 - Regula el mecanismo de los carbohidratos en las plantas. Baja movilidad
 - Def necrosis del meristema apical, acortamiento de entrenudos terminales > planta arrosetada Tejidos internos corchosos, oscuros



Zinc



Hierro



Cobre



Molibdeno



Boro



ISEA

RESUMIENDO

- SINTOMAS

- Si son en hojas VIEJAS (inferiores), Macro y Mesonutrientes: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio.
 - En hojas JOVENES (superiores) y BROTES, Micronutrientes: Hierro, Cobre, Zinc, Manganeso. La mayoría se manifiestan en manchas amarillentas en hojas jóvenes
- Observar las plantas de las proximidades si muestran también síntomas o no, ya que comparten el mismo suelo.
 - pH del suelo: pH altos ó bajos pueden provocar deficiencias ó toxicidad por exceso (toxicidad del Al en suelos ácidos). Carencia de micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo) en suelos alcalinos.

RESUMIENDO

Móvil

Nitrógeno
Fósforo
Potasio

Magnesio

Inmóvil

Calcio
Azufre

Hierro

Cobre
Cloro

Molibdeno Sodio
Boro Zinc

**ELEMENTOS MINERALES SEGÚN
SU MOVILIDAD EN EL INTERIOR
DE LA PLANTA Y SU TENDENCIA A
SER RETRASLOCADOS DURANTE
UNA DEFICIENCIA.**

RESUMIENDO

NITROGENO

- > Hojas
- > Móvil en la planta y en el suelo

FOSFORO

- > Raíces
- > Móvil en la planta, no en el suelo

POTASIO

- > Flores y Frutos
- > Muy móvil en la planta, no en el suelo

RESUMIENDO

MICRONUTRIENTES

- > Hojas jóvenes, brotes y frutos
- > Poca movilidad en planta y en el suelo

FUNCIONES METABÓLICAS, PARTICIPAN EN LA REGULACIÓN ENZIMÁTICA FORMAN PARTE CONSTITUTIVA DE LAS ENZIMAS, Ó COMO COENZIMAS, FUNCIONES REDOX

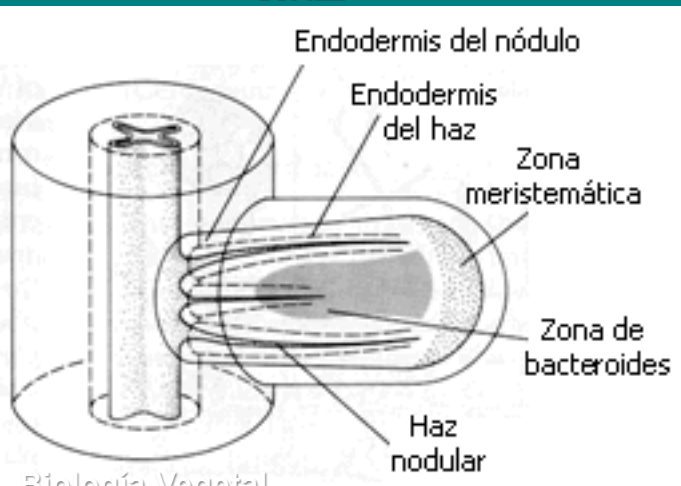
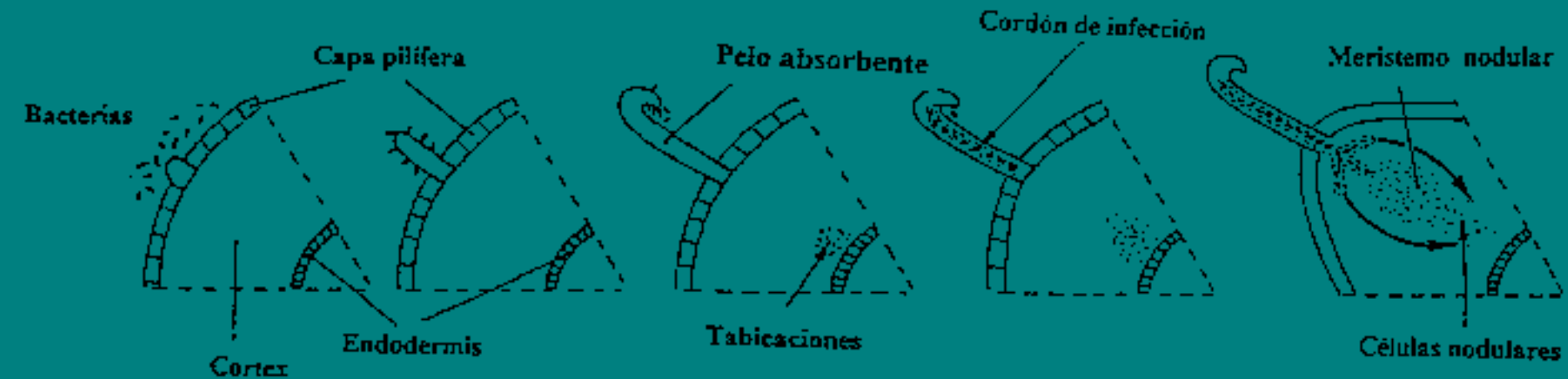
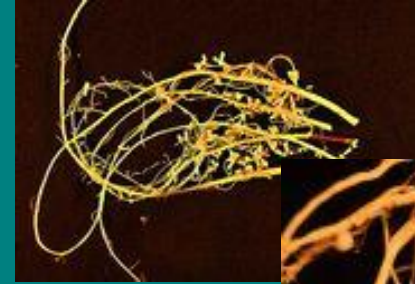
FIJACION BIOLOGICA DEL N (BACTERIAS)

- **Fijadores libres**
 - Clostridium (lugares anaeróbicos)
 - Azotobacter (mucopolisacáridos)
 - Cianobacterias (heterocistos)
- **Asociados**
 - Azospirillum (microaerofilia)
- **Simbióticos**
 - Rhizobium (leguminosas)
 - Frankia (árboles y arbustos)
 - Azolla (cianobacteria que se asocia con algas y plantas)

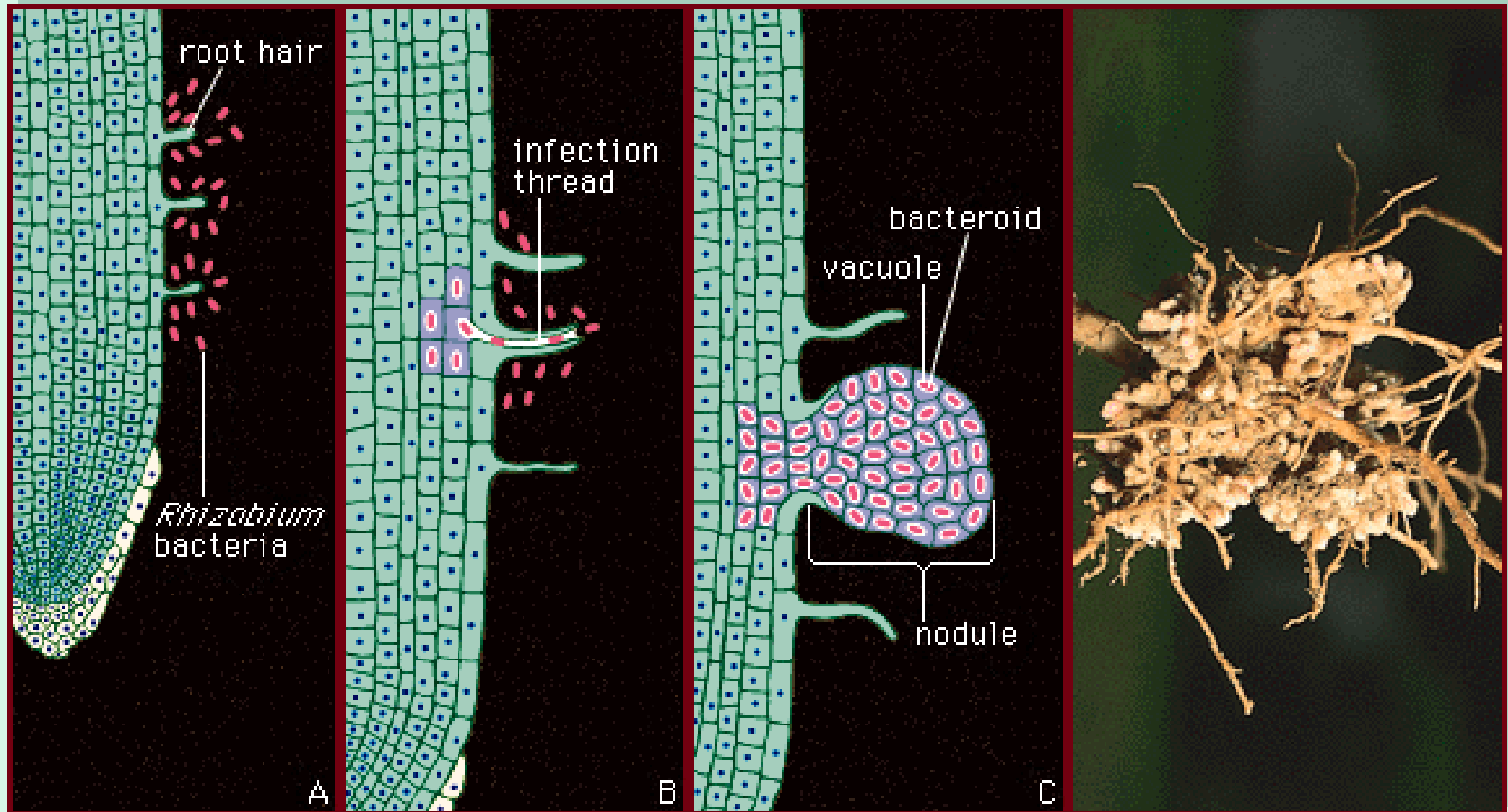


RHIZOBIUM

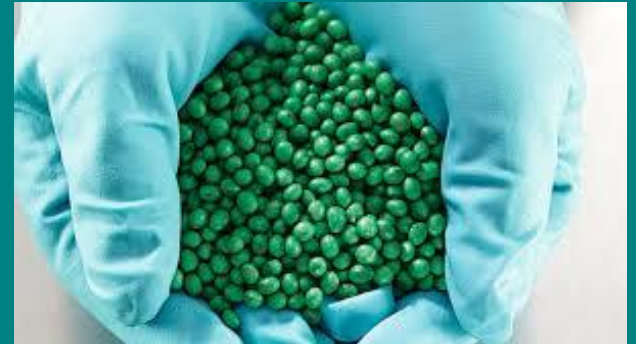
BACTERIA DE SUELO FIJADORA DE N ATMOSFÉRICO (N_2)



INFECCIÓN CON RHIZOBIUM

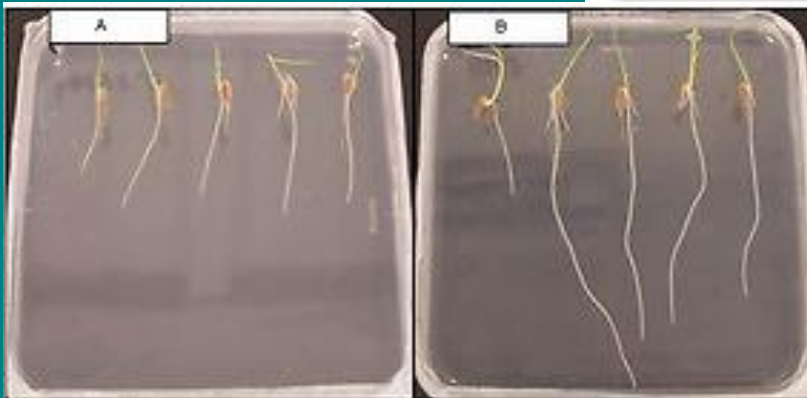
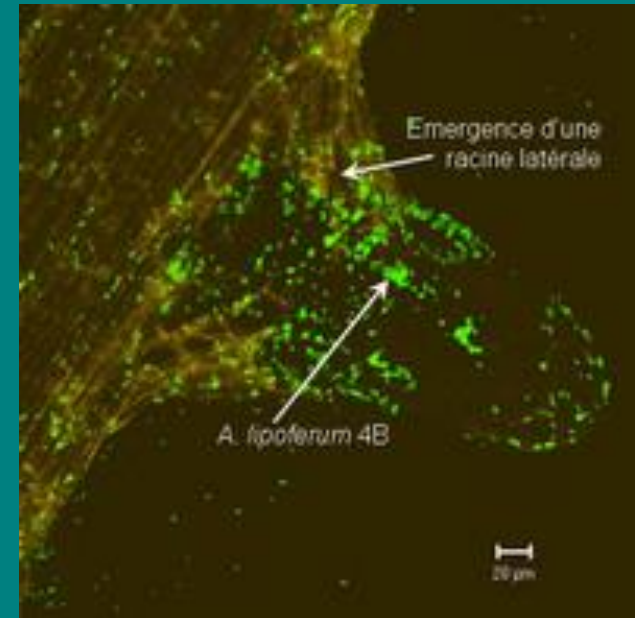


©1996 Encyclopaedia Britannica, Inc.



AZOSPIRILLUM

BACTERIA DE SUELO



Azospirillum Bacteria de suelo

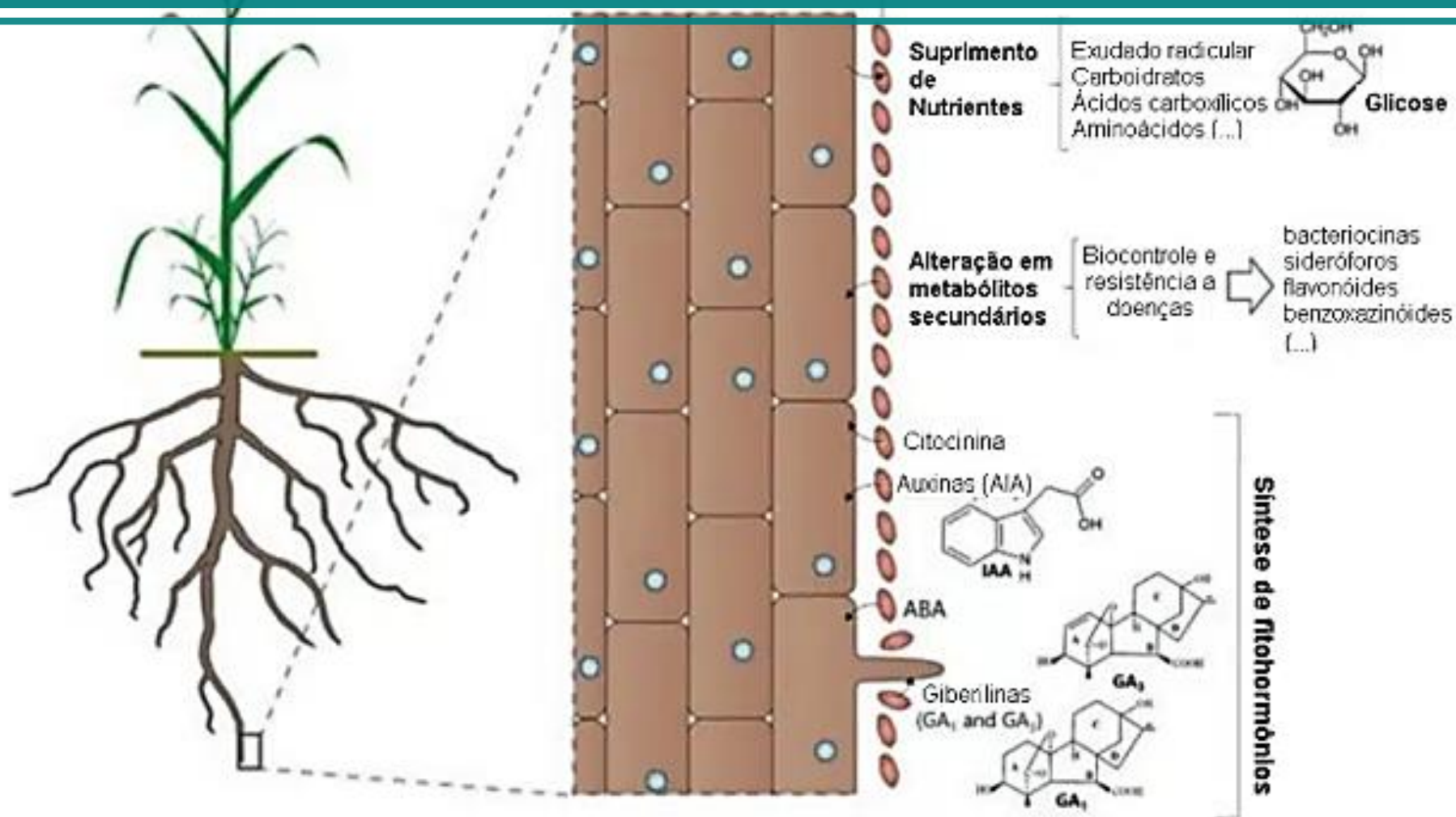
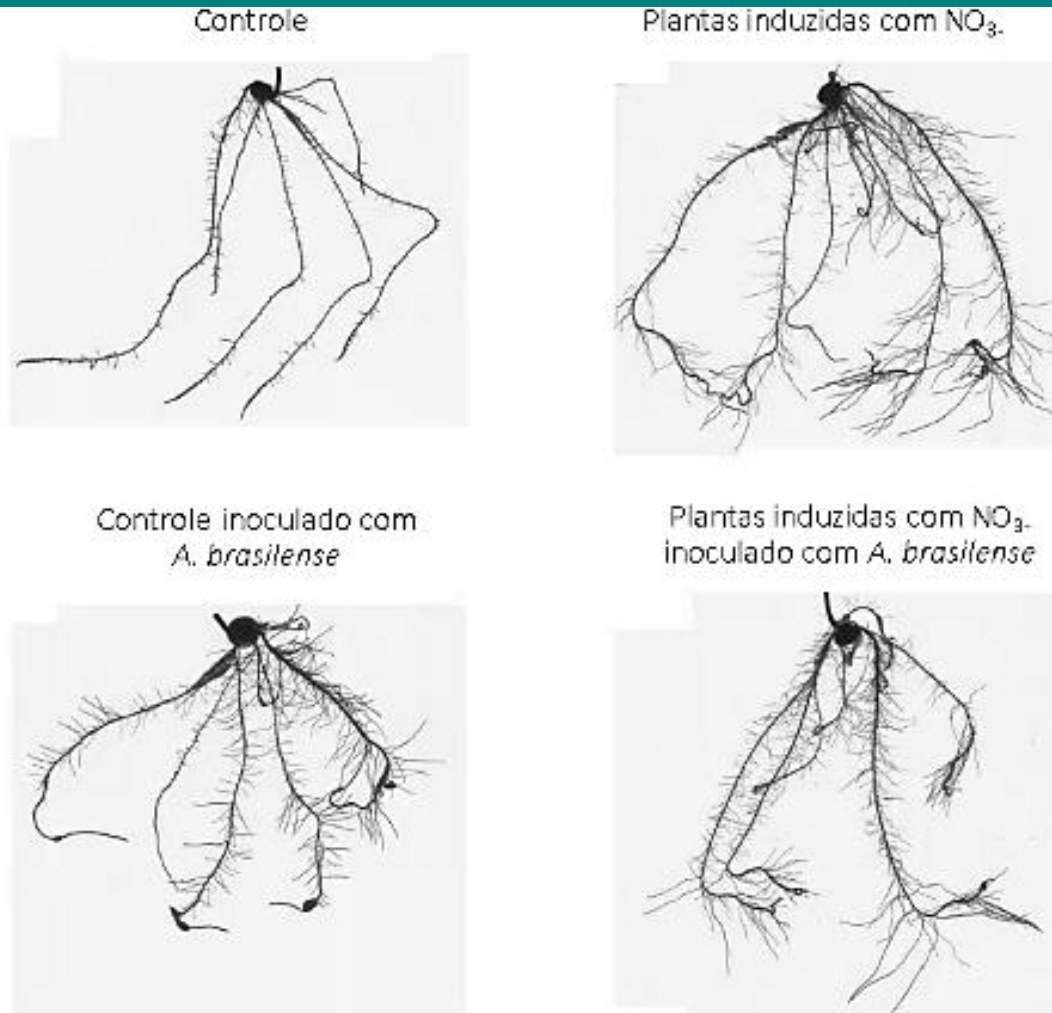


Figura 1. Efeito positivo do *Azospirillum* nas raízes das plantas. IAA: ácido 3-indol-acético. ABA: ácido abscísico. Fonte: Traduzido de Rodrigues et al., 2015.

AZOSPIRILLUM

BACTERIA DE SUELO



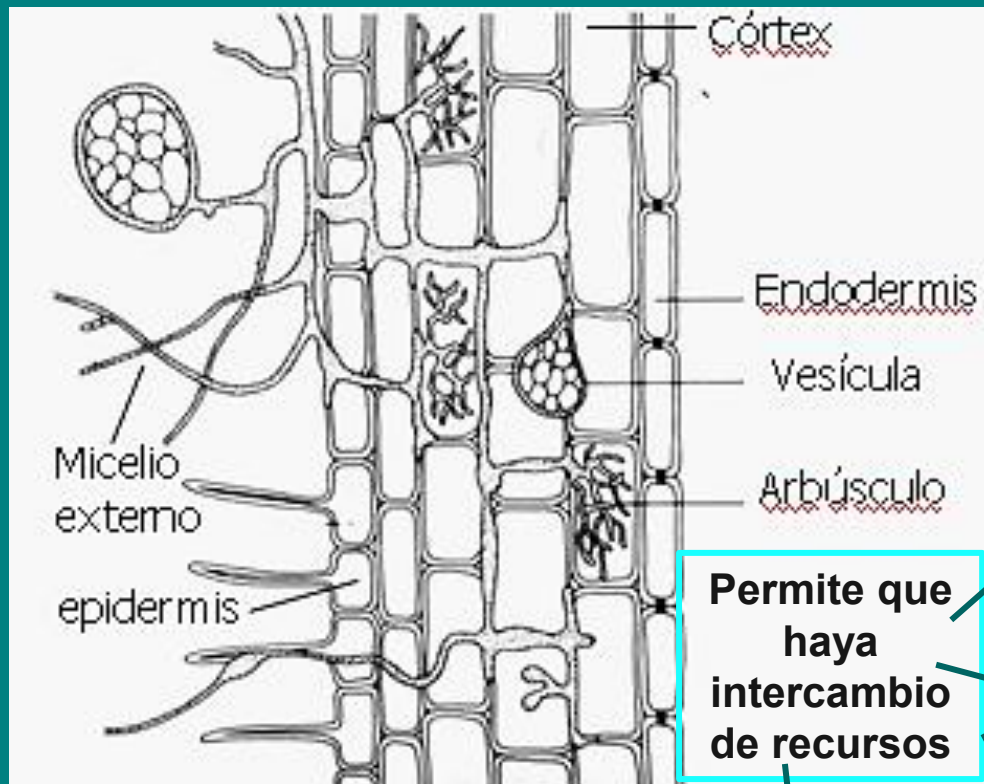
• Fijación biológica del nitrógeno

- Promoción del crecimiento de las raíces (Figura 3)
- Mayor expansión de las hojas y biomasa de la planta.
- Conductividad estomática mejorada, tolerancia a la sequía y a la salinidad
- Aumento del contenido de clorofila y de la tasa fotosintética
- Aumento de la absorción de macro y micronutrientes.
- Mayor resistencia a los patógenos
- Mayor rendimiento y tasa de cosecha

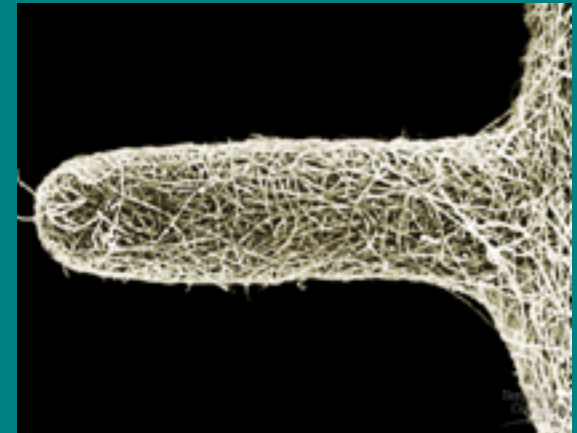
Figura 3. Arquitectura radicular de plantas de maíz con o sin inducción de nitratos y con o sin inoculación con *A. brasilense* después de 7 días de tratamiento. Fuente : Pii et al., 2019 .

ABSORCION DE P

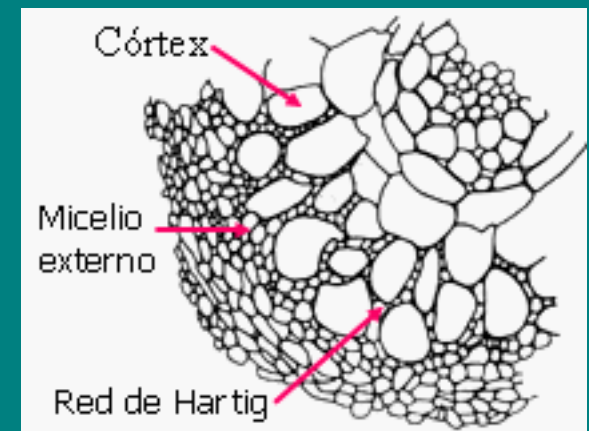
MICORRIZAS (HONGOS)



Endomicorizas



Ectomicorizas



N

P

K

H₂O
ISEA

ABSORCION DE P: MICORRIZAS (HONGOS)



FERTILIZANTES

- **Origen**
 - **Orgánicos**
 - **Químicos (inorgánicos)**
 - **Biológicos**
- **Forma de aplicación**
 - **Suelo (fertilización de base)**
 - **Foliares**
- **Formulación**
 - **Simples**
 - **Compuestos**
 - **Complejos**

GRADO

- Grado N-P-K
- Grado Equivalente N- P_2O_5 - K_2O . Se presentan como óxidos.



Elemento	Unidad fertilizante	% real del elemento
Nitrógeno	N	100
Fósforo	P2O5	43.66
Potasio	K2O	82,978
Calcio	CaO	71,42
Magnesio	MgO	60

GRADO EQUIVALENTE

De donde salen estos números?. Del peso molecular.
Pasaje de P_2O_5 a P

Peso molecular del
compuesto: PO_5

$$P = 2 * 31 = 62$$

$$O = 5 * 16 = 80$$

$$= 142g$$

% real del elemento:

$$100\% P_2O_5 = 142 g$$

$$\%P = 62 g$$

$$\text{Relación } P_2O_5 / P = 142/62$$

$$X = 2,29$$



Ej: MAP- fosfato
monoamónico
12-61-00

N = está tal cual 12%
del MAP es N

$$P = 61 / 2,29$$

$$P = 27 \%$$

Porcentaje real del
fertilizante:

12- 27-00

GRADO EQUIVALENTE

Peso atómico del K = 39,1.
 $K_2 = 39,1 \times 2 = 78,2$

Peso de la molécula $K_2O = (39,1 \times 2) + 16 = 78,2 + 16 = 94,2$

Relación $K_2O / K_2 = 94,2 / 78,2$
= 1,20



Ej: Nitrato de potasio
13-00-35

N = está tal cual, 13%
del nitrato de potasio es N.

$K=35 / 1,2$
 $P = 29,1 \%$

Porcentaje real del
fertilizante:
13- 00-29

SIMPLES



**Urea perlada
46-0-0**



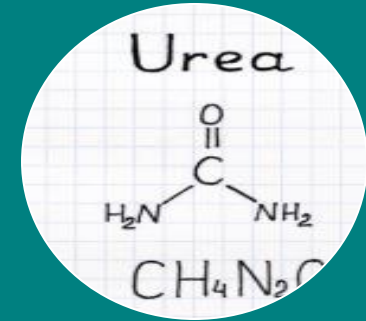
ISEA



Urea granulada

Simple: Urea.

Caso práctico



- Indique cuántos kilos de urea deben aplicarse a un cultivo de trigo siendo la dosis de N de 70 kg.ha⁻¹.

- Urea**

N	P	K
46	0	0

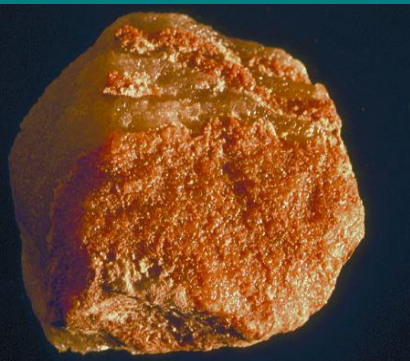
- 1 kg de Urea contiene 0.46 kg de nitrógeno (N)
- Queremos saber cuántos kilos de urea necesitamos para aportar **70 kg de N por hectárea**.

$$\text{Kg Urea} = \frac{\text{Kg N necesarios}}{\% \text{ de N en urea}} = \frac{70}{0.46} = 152.17 \text{ kg urea/ ha}$$

Se necesita aplicar 152 kg de urea por hectárea para aportar 70kg de N/ha al cultivo de trigo

COMPUESTO

PRODUCTOS



Cloruro de K
0_0_60

Biología Vegetal



Fosfato monoamónico
MAP 11-52-0

ISEA



Fosfato diamónico
DAP 18-46-0



Triple 15
15-15-15

Ing. Agr. Carina Ibañez

Compuesto – Grado equivalente



CLORURO DE POTASIO



FOSFATO DIAMÓNICO



TRIPLE 15

• CÁLCULO: GRADO DE UN COMPUESTO

• Mezcla: triple 15

- | N | P | K |
|----|----|----|
| 15 | 15 | 15 |

Triple 15	N	P	K	Cantidad (bolsas)	Cantidad (kilos)
15-15-15	15	15	15	1	200



N	P	K
?	?	?



Grado resultante

N	P	K
15	6.5	12.5

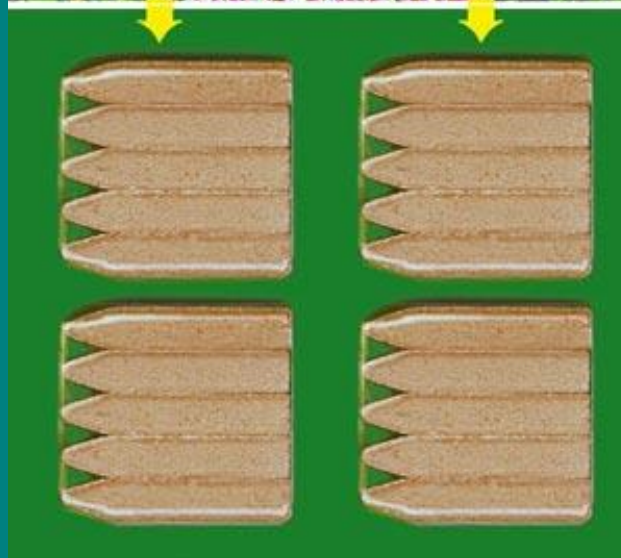
$$P = 15 / 2.29 = 6.50$$

$$K = 15 / 1.2 = 12.5$$

En kilos

N	P	K
30	13	25

Si se requiere aplicar 70 kg de N, 25 de P y 35 de K, cuántos kilos y/o bolsas de triple 15 necesitaría comprar?



FERTILIDAD

PRIMERA MEDIDA

Mantener ó incrementar la FERTILIDAD y la actividad biológica del suelo mediante:



1. Laboreo mínimo y apropiado del suelo
2. Cultivo de especies apropiadas: leguminosas, abonos verdes o plantas de raíces profundas.
3. Programa adecuado de rotaciones plurianuales.
4. Incorporación al terreno de abonos orgánicos, obtenidos de residuos provenientes del establecimiento



PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN



- ¿Cuál es la diferencia entre grado y grado equivalente de un fertilizante? Dé dos ejemplos.
- La diferencia entre grado y grado equivalente de un fertilizante está en cómo se expresan los nutrientes y en qué unidades químicas se utilizan:
 -  1. Grado de un fertilizante (grado comercial)
Es la **forma convencional** de expresar el contenido de nutrientes en un fertilizante, usando las **formas óxidos** para el fósforo y el potasio:
N (nitrógeno) se expresa como tal.
P (fósforo) se expresa como P_2O_5 (óxido de fósforo).
K (potasio) se expresa como K_2O (óxido de potasio).

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN



- Ejemplo:

Un fertilizante con **grado 10-30-10** contiene:

10% de N

30% de P_2O_5

10% de K_2O

- ✓ **2. Grado equivalente o grado real**

Es la expresión del contenido en términos de los **elementos puros o reales**:

N como N

P como P

K como K

Para convertir de **grado** a **grado equivalente** se usan factores de conversión:

$$P_2O_5 \times 0,436 = P \text{ real}$$

$$K_2O \times 0,830 = K \text{ real}$$

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN



Ejemplo:

El mismo fertilizante **10-30-10**, en grado equivalente es:

10% de N

$30 \times 0,436 = 13,1\%$ de P

$10 \times 0,830 = 8,3\%$ de K

Se puede pasar de grado a grado equivalente y viceversa

PARA CONVERTIR A EN B MULTIPLIQUE POR

A B Multiplicar por

N	NH_4^+	1.2857
NH_4^+	N	0.7777
N	NO_3^-	4.4286
NO_3^-	N	0.2259

N

P_2O_5	P	0.4364
P	P_2O_5	2.2914
P	H_2PO_4^-	3.1290
H_2PO_4^-	P	0.3196
P	PO_4^{3-}	3.0662
PO_4^{3-}	P	0.3261

P

K	K_2O	1.2046
K_2O	K	0.8302

K

Ca	CaO	1.3992
CaO	Ca	0.7147

Ca

Mg	MgO	1.6579
MgO	Mg	0.6032

Mg

S	SO_4^{2-}	3.0000
SO_4^{2-}	S	0.3333

S

Hojas con síntomas

Hojas nuevas

Hojas
semi-nuevas

Hojas viejas

Ca

S

Fe

Cu

Zn

B

Mn

Mg

N

P

K



Fin

Ing. Agr. Carina Ibañez

CRECIMIENTO Y DESARROLLO

OBJETIVO DE PRODUCCIÓN:

$$\text{Rendimiento (Kg/ha)} = \text{MS (Kg/ha)} \times \text{IC (\%)}$$



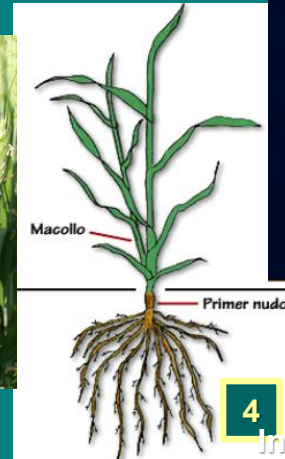
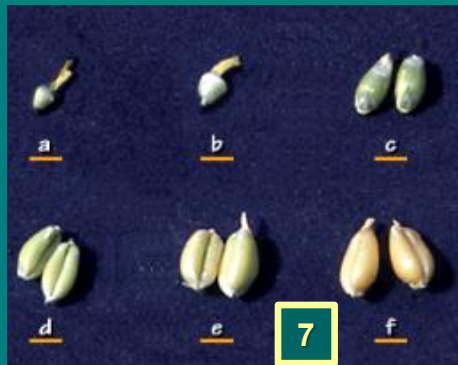
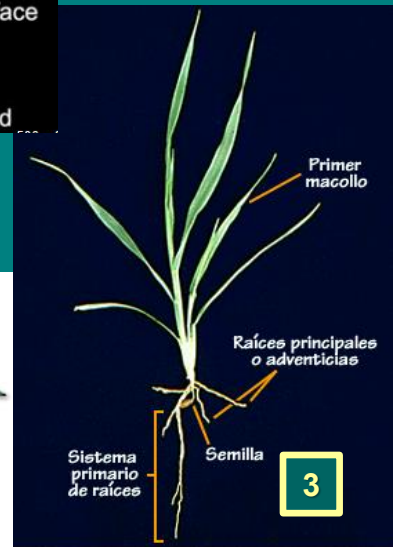
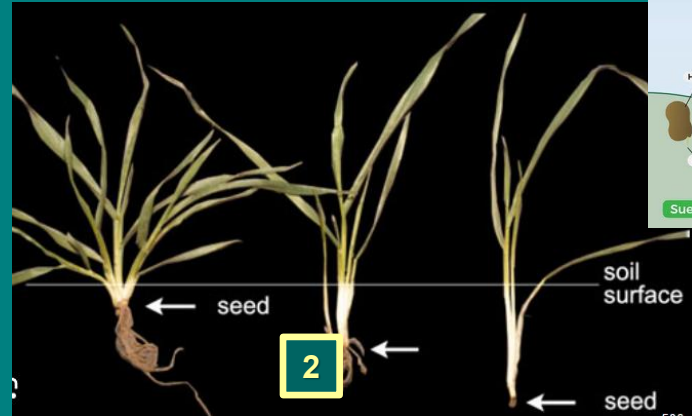
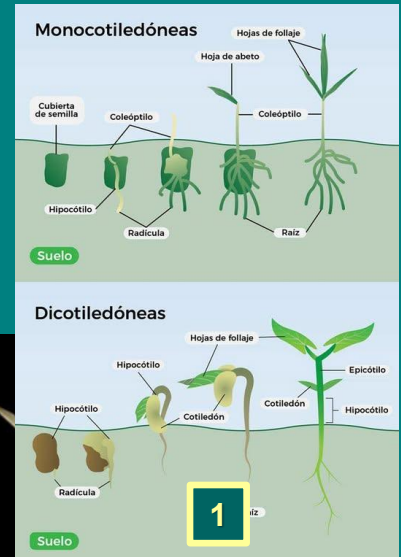
CRECIMIENTO $\neq$ DESARROLLO

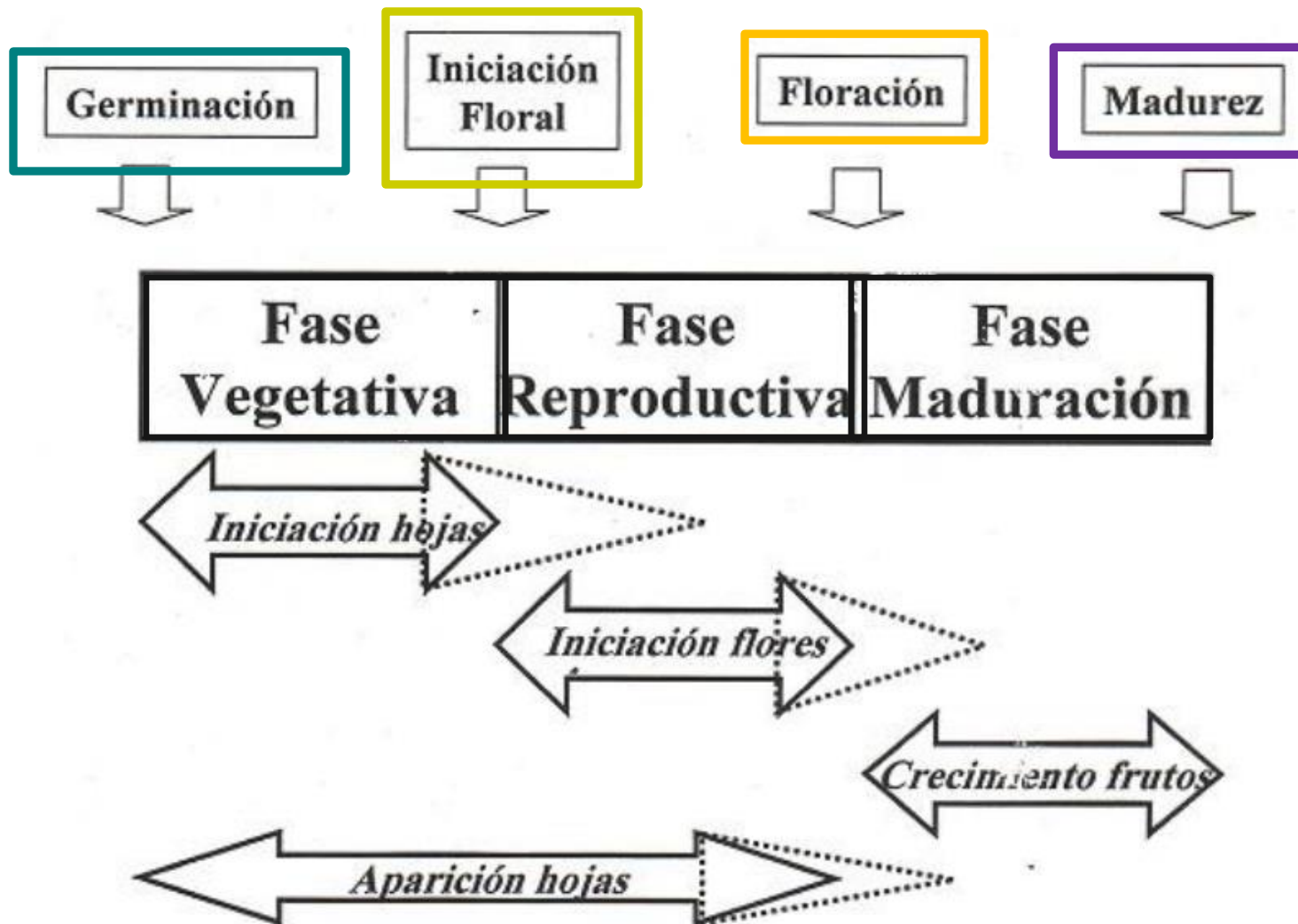
Cuantitativo

Cualitativo

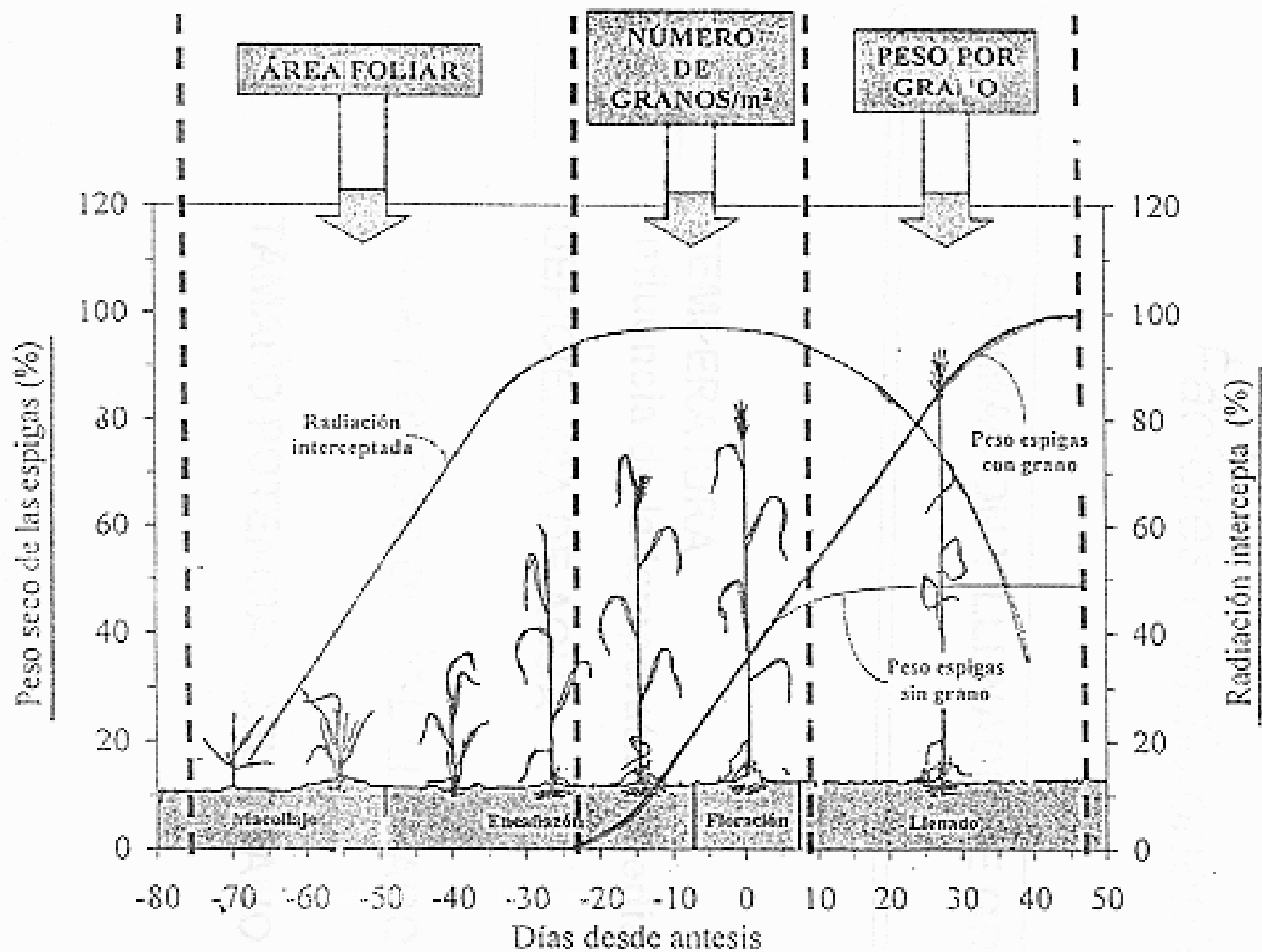
ESTADOS PRINCIPALES

- 1 Germinación y emergencia
- 2 Crecimiento de plántula
- 3 Macollaje
- 4 Encañazón
- 5 Espigazón
- 6 Floración (Antesis)
- 7 Llenado de grano





REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA SIMPLIFICADA DE LAS ETAPAS QUE COMPONEN EL CICLO DE UN CULTIVO ANUAL (VEGETATIVA, REPRODUCTIVA Y MADURACIÓN) Y LOS DISTINTOS EVENTOS QUE PUEDEN TENER LUGAR DURANTE LAS MISMAS

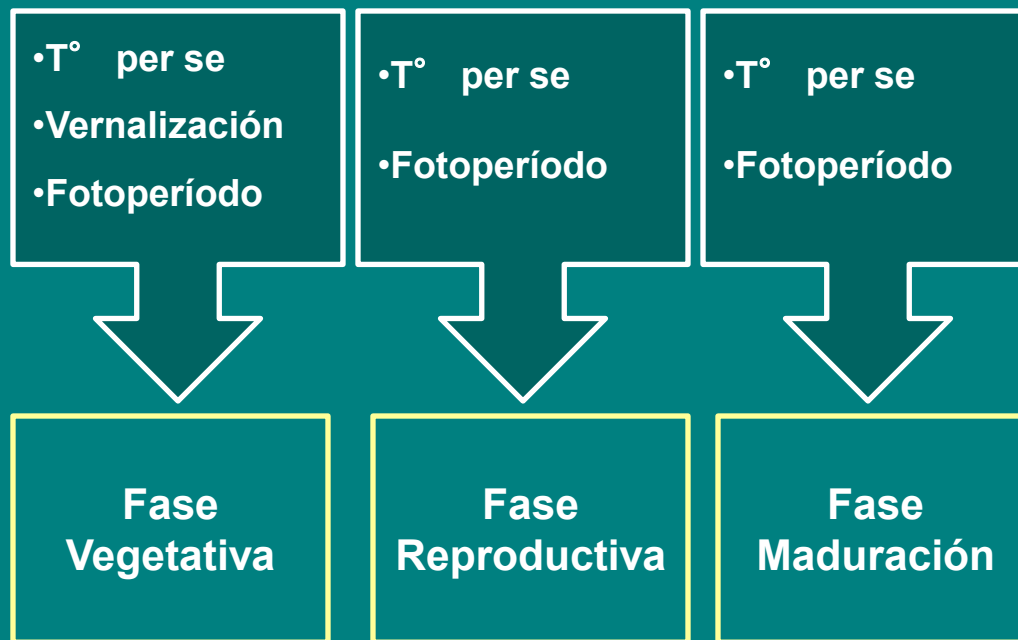


FACTORES QUE AFECTAN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO

- Temperatura 
- Humedad 
- Luz 
- Nutrientes 

TEMPERATURA

- Durante que etapas del crecimiento y desarrollo de la planta actúan estos factores del ambiente?



Representación esquemática de las etapas que componen el ciclo de un cultivo anual y los factores ambientales que pueden afectar la duración de las mismas.

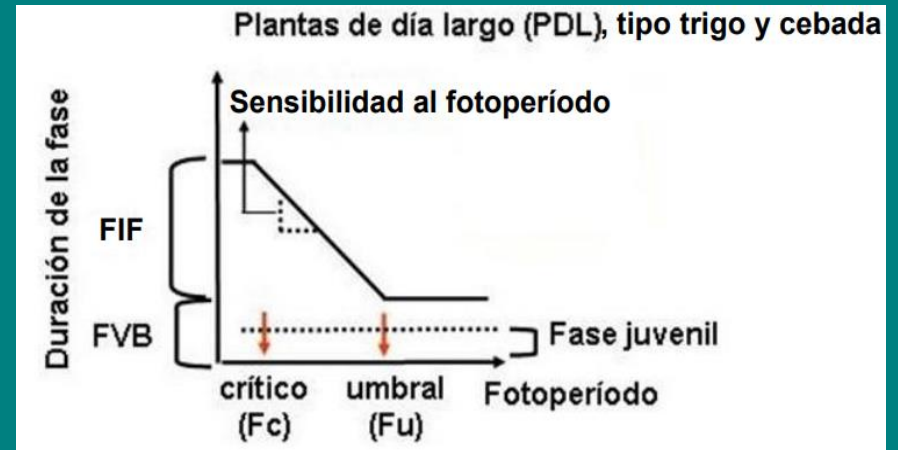
FACTORES QUE AFECTAN EL DESARROLLO

- **Fotoperíodo:** duración de los períodos de luz y de oscuridad
 - **Días cortos:** iniciación floral con días acortándose, florecen en prim ó en otoño
 - **Días largos:** inician flores cuando la duración del fotoperíodo supera las 12-14 hs
 - **Día neutro:** plantas indiferentes al fotoperíodo
- **Vernalización:** período de T° bajas para inducir la producción de flores (trigo)
- **Genotipo**

PLANTAS DE DC Y DL

- **PDC (días cortos)**

- Trigo
- Cebada



- **PDL (días largos)**

- Maíz
- Soja

