

CRECIMIENTO

Generalidades

Uno de los aspectos más fascinantes de los organismos vivos es su capacidad para crecer y desarrollarse. La síntesis continua de macromoléculas a partir de iones y moléculas pequeñas no sólo conduce a la formación de células más grandes sino también más complejas. Más aún, no todas las células crecen y se desarrollan de igual forma, lo que resulta en una planta madura compuesta por numerosos tipos de células.

Desde que germina la semilla, a medida que pasa el tiempo, la planta va creciendo. Sus células se dividen y multiplican y luego se alargan; el efecto, por supuesto, es que la planta aumenta en tamaño y peso. Sin embargo, el crecimiento no es uniforme en toda la planta. Se encuentra localizado en las zonas meristemáticas, las que producen células que formarán nuevos tejidos y órganos. Estas zonas se encuentran ubicadas en los ápices tanto del tallo como de la raíz, en las axilas de las hojas, en la base de las hojas de gramíneas, y en los tallos, lo que les permite crecer en grosor. (Figura 25).

El hecho de que existan los meristemas en los vegetales permite establecer diferencias con el crecimiento de los animales:

- a) el crecimiento de los vegetales es indefinido o indeterminado. El vegetal continúa creciendo durante toda la vida del individuo o al menos mientras las condiciones ambientales permitan. En el animal el tamaño es definido por la especie y menos susceptible a cambios por factores externos.
- b) el crecimiento se produce en áreas localizadas, los meristemas. En animales, el crecimiento se produce en el organismo todo en etapas tempranas hasta que cesa y únicamente se produce división celular para reemplazar células viejas.

Las células meristemáticas se caracterizan por poseer paredes celulares delgadas, núcleos relativamente grandes, vacuolas pequeñas o ausentes y una gran capacidad de división.

Las nuevas células formadas aumentan de tamaño debido principalmente a la elongación de las mismas por el ingreso de agua y el consecuente aumento de la presión de turgencia (Figura 26). En las células elongadas, la mayor parte del volumen celular está ocupado por la vacuola, mientras que el citoplasma queda restringido a una capa delgada adyacente a la pared. La división y la elongación celular contribuyen al aumento de tamaño de las plantas.

Podemos definir al crecimiento como un aumento irreversible y permanente de volumen de una célula, tejido, órgano o individuo, generalmente acompañado de un aumento de masa. No basta que haya solamente división celular.

Algunos parámetros normalmente utilizados para la cuantificación del crecimiento son: altura, peso seco, peso fresco, área foliar, longitud foliar y producción de macollos en gramíneas.

Diferenciación:

Paralelamente al aumento de tamaño y número, las células sufren modificaciones en la estructura de su protoplasma, en el que aparecen organelas especializadas en funciones determinadas, hasta que toda la célula aparece con una serie de estructuras que están en relación con su función, por lo que se llama **célula especializada o diferenciada**. La planta así va desarrollando tejidos y órganos y su metabolismo general se modifica: va madurando.

En casos de heridas o en procesos regenerativos, una célula que ya está diferenciada puede volver a recuperar su capacidad meristemática. En esos casos se produce una dediferenciación de algunas células adultas hasta el estado meristemático, varias divisiones celulares, y una nueva diferenciación.

En la planta normal, el crecimiento y la diferenciación transcurren paralelamente y, por ello, a menudo es más frecuente referirse a un proceso que llamamos desarrollo.

Desarrollo:

El desarrollo de un vegetal puede observarse al estudiar, por ejemplo, la radícula de una plántula y entonces aparece clara la diferencia entre el fenómeno de multiplicación celular, que ocurre a unos dos milímetros de la cofia; el alargamiento celular, que ocurre un poco más arriba, donde las células ya no se dividen, y el fenómeno de diferenciación, que ocurre más arriba aún, donde las células no sufren aumento en número ni tamaño, pero donde se diferencian entre sí. Estas células toman diversas especializaciones, por lo que aparecen los tejidos que, al organizarse, forman el cuerpo de la raíz. Figura 27.

Cinética del crecimiento.

Curva sigmoidea de crecimiento

Muchos investigadores han medido el tamaño de individuos, o de órganos de los mismos, y han expresado los datos en función del tiempo. Sachs fue uno de los pioneros en estos estudios. Al observar los gráficos resultantes, se ve que en un gran número de organismos y órganos de estos, la curva toma una forma sigmoidea típica (Figura 28).

La curva es análoga a la curva de crecimiento de una población y coincide tanto con el crecimiento de un individuo como con el crecimiento de un conjunto de individuos. La planta es un conjunto de células y no es extraño que la ecuación básica a que obedece su crecimiento sea la misma que la estudiada para una célula aislada.

En esta curva se pueden diferenciar tres fases con diferentes velocidades de crecimiento: fase exponencial, fase lineal y fase de senescencia.

1- Fase exponencial

En esta fase, la velocidad de crecimiento (aumento de tamaño por unidad de tiempo) es lenta al comienzo, aparentemente debido a la existencia de un número bajo de células en división. El número de células con capacidad de crecimiento va aumentando en forma exponencial, esto es según una progresión geométrica (del tipo 1, 2, 4, 8, 16, etc). Durante esta fase predomina la división celular. Este tipo exponencial de crecimiento se encuentra también en cultivos bacterianos en donde cada producto de la división es a su vez capaz de crecer y dividirse nuevamente. En las plantas superiores, esta fase exponencial se presenta para el aumento en peso durante las primeras etapas del crecimiento, es decir cuando la relación entre las áreas meristemáticas y el resto del cuerpo del vegetal es alta.

2- Fase lineal

La segunda fase se caracteriza porque a períodos iguales de tiempo corresponden aumentos iguales de crecimiento, en forma independiente del tamaño del sistema considerado.

Es característica de los aumentos en longitud, volumen, peso, etc, de estructuras cilíndricas en las que las áreas meristemáticas permanecen constantes.

3- Fase de Senescencia

La última fase es la de crecimiento desacelerado y en su transcurso el sistema se vuelve cada vez menos efectivo hasta que cesa totalmente. En los órganos de crecimiento determinado, como las hojas, puede prolongarse durante mucho tiempo, iniciándose mucho antes que se noten los primeros síntomas visuales de la real senescencia del órgano.

A pesar de que las curvas presentadas son representativas de numerosas especies, existen variaciones de acuerdo a la especie considerada. Algunas veces la fase lineal no se detecta, en cuyo caso las fases exponencial y de senescencia son casi continuas. En contraposición, es muy frecuente observar curvas de crecimiento con la fase lineal más amplia debido a un extenso intervalo de tiempo.

Se pueden relacionar las distintas fases del desarrollo de un vegetal en esta misma curva según el gráfico de la figura 29.

Relaciones Absoluta y Relativa de Crecimiento

El aumento en peso en cualquier punto de la curva sigmoide de crecimiento está dado por el aumento en tamaño (dW) durante un período infinitamente breve de tiempo (dt). Esto recibe el nombre de **relación absoluta de crecimiento (R)**.

$$R = dW / dt$$

también expresada como

$$R = (W_f - W_i) / (t_f - t_i)$$

Con: W_f : valor del parámetro en el tiempo final

W_i : valor del parámetro en el tiempo inicial

t_f : tiempo final

t_i : tiempo inicial

Se define a R como la pendiente de la curva de crecimiento y se expresa en $g.día^{-1}$, $cm.semana^{-1}$, $cm^2.día^{-1}$, etc. En la figura 30 se observan gráficos correspondientes a esta tasa, donde se ve que R crece en forma constante durante la fase

exponencial hasta un punto máximo y luego disminuye hasta cero.

A – Curva sigmoidea sin fase lineal

B – Curva sigmoidea con fase lineal

No es adecuado hablar de tasa absoluta cuando se intenta comparar la eficiencia en la producción de materia seca. Por ejemplo: 1 g por día es un crecimiento adecuado para una planta de 5 a 10 g pero resulta bajo para una de 100 g o más de peso seco total. Es por ello que se expresa el crecimiento teniendo en cuenta el peso o tamaño ya alcanzado: **tasa relativa de crecimiento (r)**.

$$r = (1/W) \cdot (dW/dt)$$

con: W: parámetro de crecimiento estudiado

$$dW = W_f - W_i$$

$$dt = t_f - t_i$$

Se define a r como un aumento de masa por unidad de masa presente por unidad de tiempo y se expresa en g g⁻¹ día⁻¹ o también g g⁻¹ semana⁻¹, etc.

En la figura 31 se observa que la r resulta constante en la fase exponencial y declina a medida que aumenta la edad de la planta. Esto sucede por que es menor la proporción de tejido meristemático con respecto a los otros y no hay aporte de nuevo material a medida que sus células se diferencian totalmente.

Factores que afectan el crecimiento normal

Factores externos:

El crecimiento, como todo proceso fisiológico, está influenciado por los factores del medio externo y, como este proceso depende estrechamente de la energía liberada en la respiración, es comprensible entonces que el crecimiento dependa de la temperatura como principal factor del medio, presentando un mínimo hacia los 5 ó 10°C, un óptimo hacia los 35° y un máximo hacia los 45°.

La luz es también un importante factor del crecimiento. Las plantas que crecen en falta de luz, además de tener un pobre contenido de clorofila, se alargan en su eje longitudinal y muestran retardo en el desarrollo foliar; este fenómeno se denomina ahilamiento o etiolación. La planta etiolada sufre una falta de diferenciación.

Cuando un factor actúa en deficiencia a lo largo de todo el ciclo, la curva de crecimiento es análoga a la normal, pero se va separando de ella paulatinamente, quedando más corta y baja.

Esto se ve en la figura 32, que muestra la desviación de la curva de crecimiento, en maíz, por falta de lluvia y consecuente baja del rendimiento; una curva similar se obtendría en un suelo pobre en nutrientes.

Cuando un factor sufre una desviación brusca de lo normal y luego retorna a un relativo óptimo, la curva del crecimiento registra esta desviación y aunque luego retorne a la marcha normal sufrirá una baja del rendimiento, como se aprecia en la figura 33.

Se puede observar que durante unas 5 semanas posteriores a la emergencia, en 1931, prevaleció una temperatura de 2 a 3°C, por lo que el trigo sólo creció a razón de 6 cm/semana, en tanto que en 1932 creció, en ese lapso, a razón de 11 cm/semana.

Este mismo tipo de desviación se presentará si la planta sufre una sequía a mitad del desarrollo.

Factores internos:

El organismo multicelular se caracteriza por un crecimiento organizado de sus diversas partes, que incluye una diferenciación armónica de los tejidos. Cada especie tiene una determinada forma en sus órganos; en la implantación de las hojas, en su ramificación, etc. La forma de los órganos depende de la distribución de las células, y a su vez ésta depende del plano de división de las células recién formadas. La forma del vegetal descansa, pues, en la polaridad, en la distribución de los cromosomas durante la división celular.

Esta correlación de efectos debe tener como causa inmediata la presencia de sustancias químicas; de hecho, la auxina es importante a este respecto y sin duda las giberelinas y citocininas también juegan un papel, así como los inhibidores. Sin embargo, es muy probable que existan aún otras hormonas de correlación desconocidas. La teoría de que las hormonas son las responsables de esta correlación actualmente no se discute.

Un caso muy importante de correlación del crecimiento se tiene en el tamaño relativo de raíz y tallo. Cada especie tiene una determinada relación tallo/raíz, que es de la máxima importancia, principalmente en la agricultura de zonas áridas, pues la parte aérea es superficie de evaporación y la raíz superficie de absorción, así que si se modifica la relación tallo/raíz se afectará el equilibrio hídrico de la planta.

Figura 25. Localización de meristemas

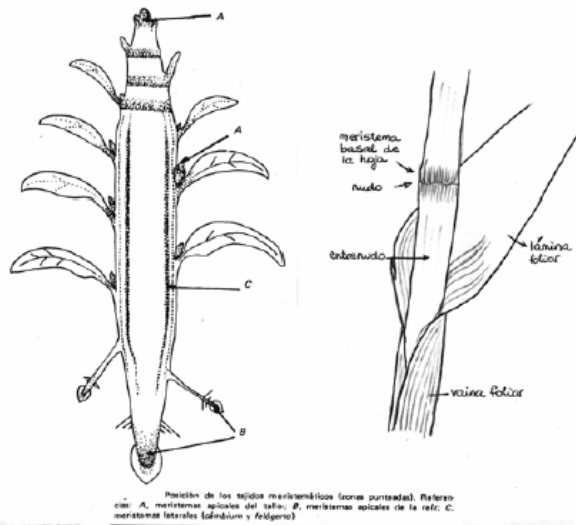


Figura 26.

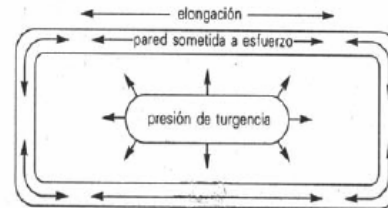


Figura 27

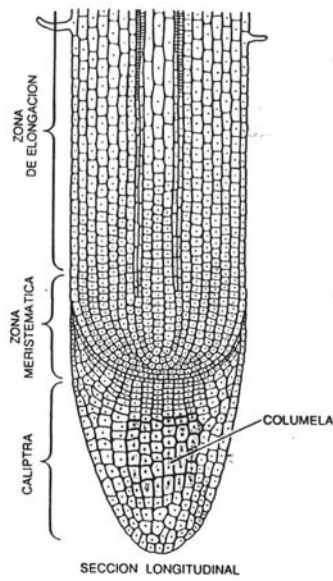


Figura 28

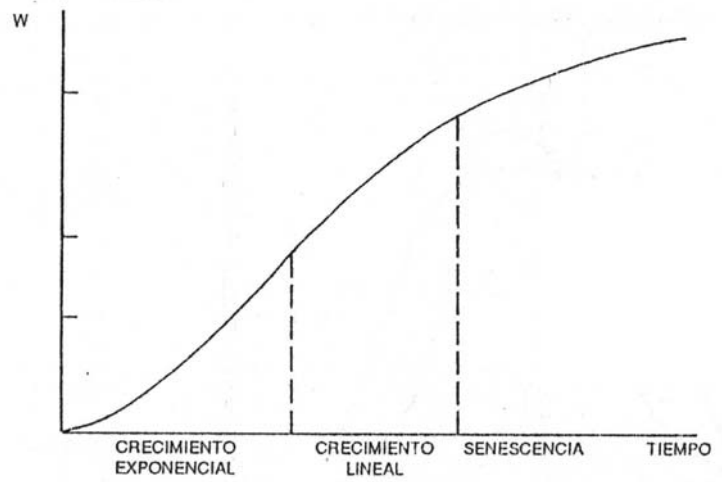
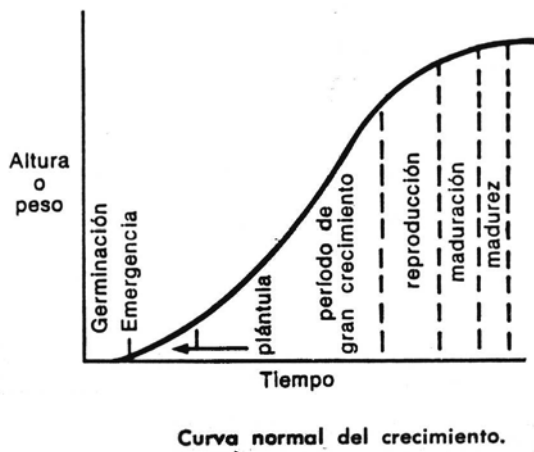


Figura 29. Curva sigmoidea de crecimiento y relación con el desarrollo



Curva normal del crecimiento.

Figura 30. Tasa absoluta de crecimiento (R)

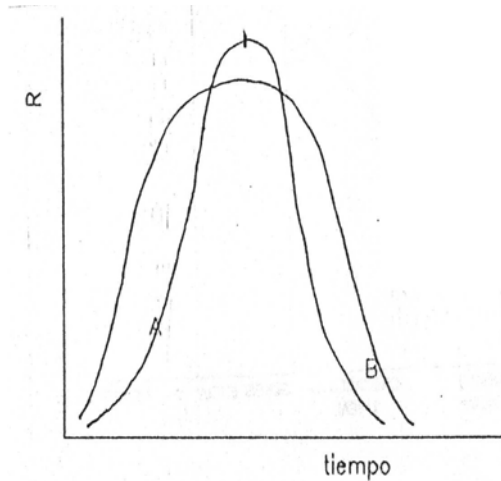


Figura 31. Tasa relativa de crecimiento (r)

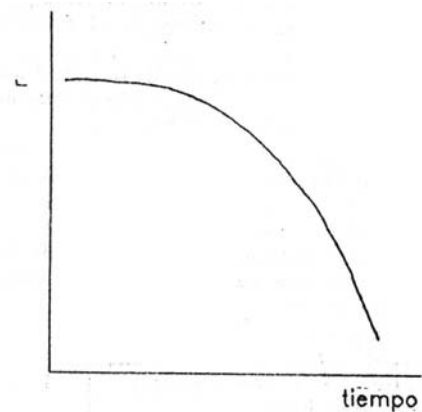


Figura 32

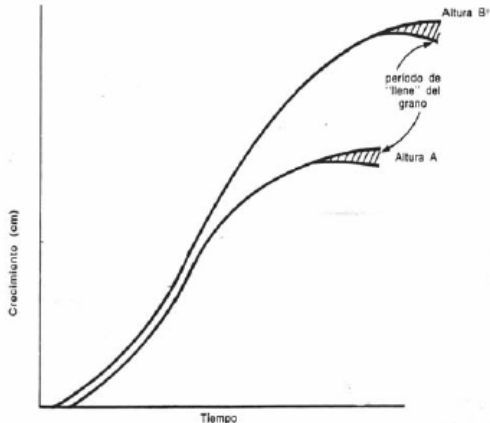


Figura 33

