

CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LOS CULTIVOS

1.1. Introducción

El crecimiento y desarrollo son procesos esenciales de la vida y propagación de las especies. Por ello, resulta de gran interés distinguir entre ambos procesos, ya que son afectados de forma distinta por los factores ambientales. En las plantas, al contrario que en los animales, el número y tipos de los órganos producidos no están definidos en el embrión, sino que se determinan más tarde en respuesta variable a las condiciones ambientales. El crecimiento viene definido por el aumento en peso, en volumen, en área o longitud de uno o varios órganos de la planta. Por ello, en un sentido restringido se refiere a la división celular (aumento en el número de células) y extensión celular (aumento en tamaño). Ambos procesos requieren de la síntesis de proteínas y son irreversibles. El aumento celular en tamaño implica hidratación y vacuolización. El desarrollo, en cambio, incluye mecanismos que determinan la aparición de nuevos órganos, lo que a su vez incluye la ocurrencia de eventos fenológicos en la vida de la planta, como es por ejemplo la floración. Para el desarrollo de la planta, además de los procesos de crecimiento debe tener lugar la diferenciación celular (especialización celular, Figura 1). Se observa, pues, que el desarrollo es responsable de cambios cualitativos y el crecimiento lo es de cambios cuantitativos. De este modo el estado en que se encuentra una planta es el resultado de los procesos de desarrollo y crecimiento.

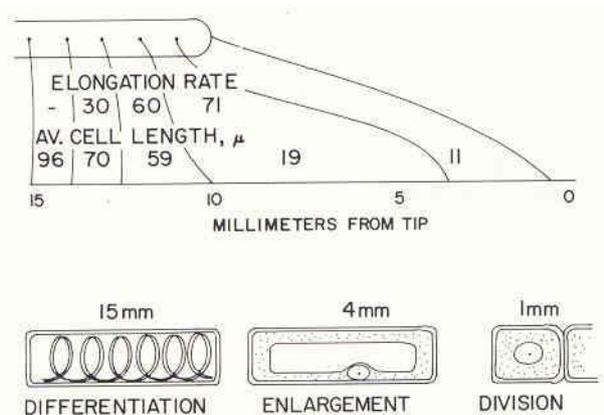


Figura 1. Zonas de crecimiento y diferenciación y células típicas representativas del ápice de una raíz de maíz

Los agrónomos, generalmente, relacionan el crecimiento con el aumento en materia seca, de ahí que la acumulación de materia seca (peso seco) sea un parámetro muy utilizado para caracterizar el crecimiento, debido principalmente a su importancia económica. Otros parámetros utilizados para caracterizar el crecimiento son: altura, volumen, área foliar, diámetro y sección de tronco, etc. El peso fresco es menos utilizado debido a sus fluctuaciones con el estado hídrico de la planta.

El crecimiento de los cultivos puede ser expresado, empíricamente, como una función del genotipo \times ambiente = f (factores de crecimiento internos \times factores de crecimiento externos). Ciertos caracteres de las plantas están influenciados principalmente por el genotipo, otros por el ambiente, el grado con lo que lo hace cada uno depende del

carácter en particular. Podemos decir que la interacción genotipo-ambiente da lugar a la expresión del potencial genético.

En la agricultura actual un objetivo primordial es maximizar las tasas de crecimiento y producción recurriendo tanto a la manipulación genética como ambiental. Los genotipos son modificados a través de la mejora y selección de plantas e igualmente el microclima es modificado de múltiples formas (labranza, riego, drenaje, fertilización, control de malas hierbas y otras prácticas culturales).

1.2. Tipos de crecimiento

Se puede distinguir entre *crecimiento vegetativo* (hojas, tallos y raíces) y *crecimiento reproductivo* (inflorescencias, flores y frutos). Para las hojas y el tallo es interesante distinguir entre crecimiento expansivo (de volumen, área o longitud) y crecimiento de peso, ya que ambos se pueden ver afectados de distinta manera por los estreses ambientales. Así, por ejemplo, el crecimiento expansivo es muy sensible al déficit de agua, viéndose reducido para contenidos de agua en el suelo relativamente altos. La tasa de asimilación por unidad de área foliar no se verá afectada hasta que se produzca una importante regulación estomática lo que suele ocurrir con contenidos de agua en el suelo muy bajos. Así, cuando el déficit hídrico es ligero, la tasa de asimilación se mantiene (y por lo tanto, el crecimiento en peso se mantiene) pero no se utiliza en procesos de crecimiento expansivo. Ello obliga a la planta a modificar su patrón de reparto de asimilados (por ej.: dedicando una fracción mayor a crecimiento radical o acumulando reservas).

1.3. Factores que determinan la velocidad de crecimiento

Existen dos categorías de factores de crecimiento: externos (ambientales) e internos (genéticos). La velocidad de crecimiento de un órgano depende esencialmente de los siguientes factores:

- Estado de desarrollo en que se encuentra. La constitución genética de la planta conlleva una serie de instrucciones que determinan el crecimiento potencial del órgano en un momento determinado.

- Las señales ambientales. Las plantas son capaces de captar determinadas señales ambientales (por ej.: relación rojo/rojo lejano, R/FR) que alteran la velocidad de crecimiento de los órganos, o, más concretamente el patrón de reparto de asimilados. Así por ejemplo, cuando la densidad de plantas es elevada, la relación R/FR es baja, lo que provoca un mayor crecimiento del tallo y un menor crecimiento de las hojas.

- La temperatura. La actividad celular es muy sensible a la temperatura. En general el óptimo de temperatura para la división celular es 5-6°C mayor que el óptimo para la expansión celular. La curva de respuesta de la velocidad de crecimiento de un órgano frente a la temperatura depende de la especie y del órgano considerado, aunque en general se encuentra un óptimo relativamente amplio entre valores de 15-25°C.

- La disponibilidad de asimilados. El crecimiento de un órgano requiere materias primas y depende por lo tanto del flujo de carbohidratos y nutrientes hacia ese órgano. En general hablamos de relaciones “fuente /sumidero” (sink/source) para

referirnos a las interacciones entre disponibilidad de asimilados (fuente) y capacidad de crecimiento (sumidero).

Limitaciones de los factores de crecimiento.

- *Ley de Liebig*
- *Ley de Mitscherlich*

La respuesta de la planta a la deficiencia en nutrientes fue uno de los primeros objetivos de los investigadores. Los trabajos de Liebig, Mitscherlich y otros fueron la base de varias teorías sobre factores limitantes del crecimiento y la respuesta de la planta.

1.4. Meristemos

Los meristemos son tejidos especializados donde tiene lugar el crecimiento tanto por división como por alargamiento celular. Los meristemos están ubicados en distintas partes de la planta (Figura 2)

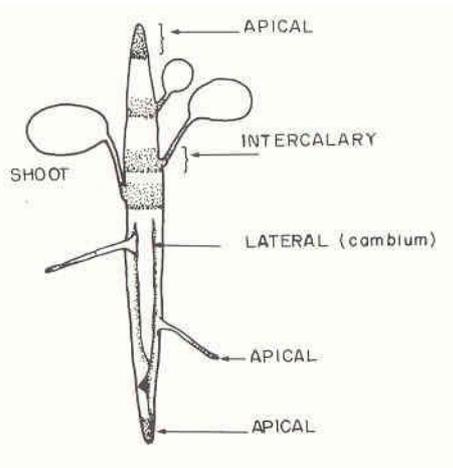


Figura 2. Ubicación de los meristemos en las plantas

El desarrollo implica la coordinación y secuencia de la iniciación, crecimiento y longevidad de los nuevos órganos vegetativos y reproductivos. Estos nuevos órganos se inician en los meristemos donde su aparición se manifiesta por la formación de los primordios que son conjuntos localizados de pequeñas células meristemáticas.

El número de meristemos en las plantas es importante, aunque en términos de masa total representen poco peso. Los meristemos pueden competir fuertemente por los nutrientes minerales y orgánicos, de ahí que el cultivo de primor dependa en gran medida del manejo de la competición de meristemos (aumento del número de ramas, inflorescencias, área foliar, etc) al promover el desarrollo meristemático en determinadas yemas.

Los meristemos apicales de los tallos y de la raíz tienen una capacidad de crecimiento ilimitada y producen el cuerpo de la planta en continua elongación (aumento en longitud, en altura). Los meristemos intercalares de los entrenudos también contribuyen a la elongación del tallo, los nuevos ápices de las axilas de las hojas (meristemos axilares) permiten la ramificación, mientras que los meristemos laterales, principalmente, el cambium vascular (de él derivan el xilema y el floema), aumentan su grosor (crecimiento en diámetro).

En la agricultura se dedica una atención especial al desarrollo reproductivo porque los frutos y las semillas constituyen el rendimiento económico de la mayoría de las especies. Habitualmente, los ápices de la parte aérea pasan de la producción de hojas a la producción de flores en respuesta a condiciones ambientales.

1.5 Correlaciones de crecimiento

Las plantas adquieren una forma característica debido al crecimiento correlativo de cada una de sus partes. Estas partes también tienen una forma característica que es repetible en el tiempo y en el espacio. Un medio favorable puede aumentar cuantitativamente el crecimiento pero la geometría de las partes y la planta entera es relativamente constante.

Alometría

Las relaciones entre las tasas de crecimiento de partes individuales de un órgano u organismo se denominan relaciones alométricas. La relación entre 2 variantes (X e Y) puede ser expresada como $y = b x^k$, donde x e y son los parámetros físicos y b y k son constantes (k = exponente alométrico). El valor de k puede ser obtenido a partir de la ecuación:

$$\log y = \log b + k \log x$$

o bien, representando y en función de x en una escala doble logaritmo, lo que origina una línea recta de pendiente k , o también puede determinarse a partir del análisis de regresión lineal del conjunto de datos x e y .

Si la longitud y la anchura de un órgano, por ejemplo de una hoja, se expanden a la misma velocidad la pendiente de la línea de regresión será 1 (coeficiente alométrico) y ambas tasas de crecimiento están perfectamente correlacionadas. Los coeficientes alométricos de las relaciones copa/raíz están basados en los pesos secos más que en dimensiones y generalmente exhiben un k muy bajo.

Ratio ramos/raíz

La alometría crecimiento copa/raíz, expresada generalmente como ratio brotes/raíz, tiene una significación fisiológica, ya que puede reflejar un tipo de tolerancia al estrés hídrico. Aunque el ratio brotes/raíz está controlado genéticamente está fuertemente influenciado por el ambiente. Así, en el arroz, la fertilización nitrogenada tiene una influencia pronunciada sobre el ratio brotes/raíz. Bajo un régimen de N elevado, aproximadamente, el 90% de los fotoasimilados fueron repartidos en brotes, en comparación al 50% bajo condiciones de dosis normales.

Una deficiencia en agua disminuye el crecimiento de copas y raíces pero con un efecto relativamente mayor en el crecimiento de la copa. Las copas se ven favorecidas cuando estos 2 factores de crecimiento se encuentran abundantemente y las raíces cuando están limitados.

1.6 Dinámicas de crecimiento

El patrón de crecimiento en un ciclo vegetativo es típicamente caracterizado por una función sigmoideal (Figura 3). Si la masa de la planta (materia seca), volumen, área foliar, altura o acumulación de sustancias químicas es trazada en función del tiempo la línea de ajuste a los datos será normalmente sigmoideal. La curva en forma de S resulta de tasas diferenciales de crecimiento durante el ciclo de vida.

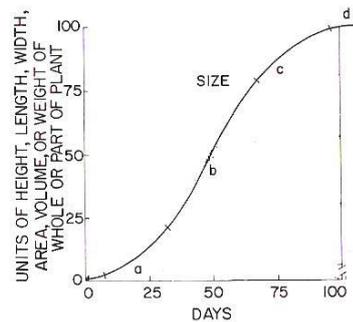


Figura 3. Curva de crecimiento generalizada

Existe un período corto de 1 ó 2 semanas sin ganancia en materia seca, seguido de un período de crecimiento exponencial (a) – le sigue un periodo relativamente largo (b) de aumento a una tasa relativamente constante y a esta fase le sigue otra (c) en la que la tasa de crecimiento declina – el aumento se va haciendo progresivamente menor hasta alcanzar un estado constante al que se le denomina madurez fisiológica.

1.7. Análisis del crecimiento

Es uno de los métodos más utilizados por los fitotécnicos para mejorar el conocimiento de los complejos fenómenos que caracterizan el crecimiento de las cubiertas vegetales. Éste ha contribuido al logro de cultivares más productivos, con exigencias ecológicas más adaptadas a las condiciones locales, a la vez que ha permitido optimizar la aplicación de diversas técnicas culturales (épocas de siembra, densidades poblacionales, fertilización, riego, etc).

Las medidas de área foliar (dispositivos fotoeléctricos) y peso seco (procedimiento estándar) hechas a intervalos frecuentes [análisis clásico: medidas cada 1 o 2 semanas sobre un número de plantas relativamente amplio, si bien puede resultar más interesante medidas más frecuentes (\approx 2-3 días) sobre un número de plantas menor] son las dos medidas de mayor utilidad para el análisis del crecimiento. De estas medidas derivan otros parámetros de gran interés.

Índice de cosecha

Este índice refleja la proporción de asimilados distribuidos entre biomasa económica y total.

$$\text{Índice de cosecha} = \frac{\text{Producción económica}}{\text{Producción biológica}} \times 100$$

Producción biológica: representa la materia seca total acumulada por el sistema de plantas.

Producción económica: se refiere al volumen o peso de los órganos de estas plantas que constituyen el producto de interés económico o de valor agrícola. (la producción biológica total a menudo no incluye los pesos de las raíces por la dificultad de obtener sus valores).

En algunos cultivos utilizados por sus granos, el aumento del rendimiento en grano ha sido principalmente debido a un aumento en el índice de cosecha. En otras palabras, no es que

las plantas hayan producido más materia seca total sino que el reparto de asimilados se ha dirigido más hacía las semillas.

Tasa de crecimiento relativa (RGR)

Expresa el aumento en peso seco (ΔW) en un intervalo de tiempo ($t_2 - t_1$) en relación al peso inicial (W_1).

$$\overline{\text{RGR}} = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1} \text{ (g g}^{-1}\text{d}^{-1}\text{)}$$

Ejemplo: determinar la Tasa de Crecimiento Relativa (Relative Growth Rate) de 2 plantas hipotéticas (A y B) de diferente tamaño.

Medidas	A	B
W_1 (g)	5	10
W_2 (g)	10	20
ΔW (g) en 1 semana	5	10
$\ln W_2 - \ln W_1$	2,30-1,60	3,00-2,30
$t_2 - t_1$ (1 sem)	1	1
RGR g.g ⁻¹ .sem ⁻¹	0,7	0,7

Ambas plantas tienen la misma tasa de crecimiento independientemente de que B ganase el doble de peso que A, esto fue debido a que B partía con el doble de peso que A.

Relación de Área Foliar (LAR)

Expresa la relación entre el área foliar o tejido fotosintetizante y biomasa total de la planta (Tabla 1).

$$\text{LAR} = \frac{\text{Área foliar}}{\text{Peso total}} \text{ (cm}^2 \text{ g}^{-1}\text{)}$$

Área Específica Foliar (SLA)

$$\text{SLA} = \frac{\text{Área foliar}}{\text{Peso foliar}} \text{ (cm}^2 \text{ g}^{-1}\text{)}$$

Peso Específico Foliar (SLW)

$$\text{SLW} = \frac{\text{Peso foliar}}{\text{Área foliar}} \text{ (g cm}^{-2}\text{)}$$

Tasa de Asimilación Neta (NAR)

Expresa la ganancia neta de asimilados, principalmente fotosintéticos, por unidad de área foliar y tiempo. También incluye la ganancia en minerales.

$$\text{NAR} = \frac{1}{\text{Área foliar}} \times \frac{dW}{dt} \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$$

La ecuación para calcular el valor medio (NAR) (Tabla 8.3) asume que la relación entre el peso de la planta y área foliar es lineal.

$$\overline{\text{NAR}} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \times \frac{\ln L_{A2} - \ln L_{A1}}{L_{A2} - L_{A1}}$$

Índice de Área Foliar (LAI)

$$\text{LAI} = \frac{\text{Área foliar}}{\text{Marco de plantación}} \text{ (m}^2 \text{ m}^{-2}\text{)}$$

TABLE 8.3. Growth analysis quantities derived from plant weight and leaf area (dry wt basis)

Derived Quantity	Symbol	Instantaneous Value ^a	Formula for Mean Value over Time Interval (T ₂ - T ₁) ^b	Unit
Relative growth rate	RGR	1/W • dw/dt	$\overline{\text{RGR}} = (\ln W_2 - \ln W_1)/(T_2 - T_1)$	W • W ⁻¹ • T ⁻¹
Leaf area ratio	LAR	L _A /W	$\overline{\text{LAR}} = (L_{A2}/W_2 + L_{A1}/W_1)/2$	A • W ⁻¹
Specific leaf area	SLA	L _A /L _w	$\overline{\text{SLA}} = (L_{A2}/L_{w2} + L_{A1}/L_{w1})/2$	A • W ⁻¹
Specific leaf weight	SLW	L _w /L _A	$\overline{\text{SLW}} = (L_{w2}/L_{A2}) + (L_{w1}/L_{A1})/2$	W • A ⁻¹
Net assimilation rate	NAR	1/L _A • dw/dt	$\overline{\text{NAR}} = [(W_2 - W_1)/(T_2 - T_1)] \cdot (\ln L_{A2} - \ln L_{A1})/(L_{A2} - L_{A1})$	W • A ⁻¹ • T ⁻¹
Leaf area index	LAI	L _A /G _A	$\overline{\text{LAI}} = [(L_{A2} + L_{A1})/2] \cdot (1/G_A)$	dimensionless
Crop growth rate	CGR	1/G _A • dw/dt	$\overline{\text{CGR}} = 1/G_A \cdot (W_2 - W_1)/(T_2 - T_1)$	W • A ⁻¹ • T ⁻¹
Leaf area duration (leaf area basis)	LAD	None	$\overline{\text{LAD}} = (L_{A2} + L_{A1})(T_2 - T_1)/2$	A • T
Leaf area duration (leaf area index)	LAID	None	$\overline{\text{LAID}} = (\text{LAI}_1 + \text{LAI}_2)(T_2 - T_1)/2$	T
Biomass duration	BMD	None	$\overline{\text{BMD}} = [(W_2 + W_1)/2] \cdot (T_2 - T_1)$	W • T
Absolute growth rate	AGR	dw/dt	$\overline{\text{AGR}} = W_2 - W_1/T_2 - T_1$	W • T ⁻¹
Leaf fraction	LF	L _w /W	$\overline{\text{LF}} = (\text{LF}_1 + \text{LF}_2)/2$	%

^aL_A = leaf area, L_w = leaf weight, G_A = ground area, T = time, W = weight, A = area.

^bApproximate except for relative growth rates.

Bibliografía

- DE JUAN, J.A.; MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.J.; BOTELLA, O. 1992. *Dinámica del crecimiento y desarrollo del girasol*. Colección Ciencia y Técnica. Albacete, 256 pp.
- DE JUAN, J.A.; MARTÍN DE SANTA OLALLA, F.J.; FABEIRO, C. 1994. *Análisis del crecimiento y rendimiento del rábano (Raphanus sativus L.) cultivado bajo invernadero en Albacete*. Agrícola Vergel. Enero: 12-19.
- GARDNER, F.P.; PEARCE, R.B.; MITCHELL, R.L. 1990. *Physiology of crop plants*. 2^a ed. Iowa State University Press: Ames. Iowa. 372 pp.
- VILLALOBOS, F.J.; MATEOS, L.; ORGAZ, F.; FERERES, E. 2002. *Fitotecnia: Bases y Tecnologías de la Producción Agrícola*. Ed. Mundi-Prensa. 495 pp.