

UNIDAD 1 –PARTE 2

I. FENOLOGÍA DE LOS CULTIVOS

Introducción

Durante el ciclo ontogénico, los organismos vivos experimentan una serie de transformaciones anatómicas y morfológicas que se corresponden internamente con cambios en sus procesos fisiológicos vitales, regidos por sus características genéticas y reguladas por los factores externos del ambiente físico en que crecen y se desarrollan.

Las observaciones fenológicas en la producción agropecuaria son de suma importancia, ya que el conocimiento de las necesidades climáticas de una especie vegetal o determinada especie o raza animal, permite una mejor elección del tipo de producción a implementar en una zona o región, permitiendo un uso racional del medio ambiente en beneficio de la producción.

La planta, es un verdadero sensor meteorológico complejo ya que no registra las variaciones de un solo elemento, sino de todos los componentes meteorológicos que tienen influencia sobre su ciclo biológico (Planchuelo *et al.*, 1987). El ciclo vital de los seres vivos, implica el nacimiento, crecimiento, desarrollo, reproducción y muerte. En el caso de las plantas, el nacimiento puede generarse a partir de una semilla denominándose en ese caso germinación o a partir de una parte del vegetal, y en tal caso será brotación.

En su ciclo ontogénico, los vegetales experimentan cambios visibles o no, que están en estrecha relación con las condiciones ambientales y genéticas. A estos cambios podemos dividirlos en dos grandes grupos: **crecimiento** y **desarrollo**.

El crecimiento es el aumento en número, tamaño o volumen de las células del vegetal y el desarrollo es el cambio continuo en la morfología y función de la planta. Mientras crecimiento implica un cambio cuantitativo, el desarrollo es un cambio cualitativo.

Definiciones

Fenómeno es toda manifestación de un hecho. Se llaman **fenómenos periódicos** a las manifestaciones externas, que se producen en animales o vegetales, con algunas variaciones año a año y en las mismas épocas. Todos los fenómenos biológicos observables en la naturaleza presentan un ritmo estacional de ocurrencia variable, de lugar en lugar y de un año a otro, de acuerdo a las variaciones meteorológicas acompañantes. La brotación y floración de las plantas, la llegada o partida de aves migratorias, la gestación y nacimiento de las crías de animales, la migración de cardúmenes, etc., son algunos de los miles de fenómenos que suceden en la naturaleza durante el año, con una periodicidad o ritmo que reconoce la influencia de factores astronómicos y/o meteorológicos. Cuando ese ritmo es alterado temporalmente, la causa es siempre una variación en alguno o varios de los elementos meteorológicos condicionantes.

El estudio y explicación sistemática y organizada de los cambios o fenómenos periódicos en la apariencia y constitución de los seres vivos por causas ambientales se conoce como **fenología**. Este término fue introducido por Linneo y deriva del vocablo griego "*Phanesthai*" (aparecer).

La fenología corresponde al estudio del progreso del desarrollo del cultivo en relación a las condiciones ambientales. Los procesos periódicos cuantificables del crecimiento corresponden a la fenometría.

De las experiencias, observaciones y registros fenológicos se infiere que los factores que más inciden en los fenómenos periódicos de los vegetales son:

- **la marcha de la temperatura** a lo largo del año y en algunas plantas influye la marcha de la temperatura a lo largo del día
- **la variación en la duración del día/ duración de la noche**
- **el régimen pluviométrico.**

En las plantas, el número y tipo de órganos producidos no están definidos en el embrión, como ocurre en los animales, sino que se determinan más tarde en respuesta a las condiciones ambientales. Los vegetales, desde su nacimiento e inicio del crecimiento, presentan una actividad biológica que está determinada en su ritmo -se acelera o retarda- según la ocurrencia de los fenómenos meteorológicos.

El análisis del desarrollo del cultivo se facilita por el reconocimiento de momentos distintivos en el ciclo ontogénico denominados **fenostados**, **fenofases** o simplemente **fases**. La velocidad de avance dentro de cada fenofase es conocida como la **tasa de desarrollo**.

Se denomina fase a la aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos de un ser vivo (Ver figura 1). A las fases correspondientes a los vegetales se las denominan fitofases y zoofases a las de los animales. La emergencia de las plántulas, espigazón del trigo, floración de los frutales, maduración, son algunos ejemplos de fitofases.

Se acostumbra también definir las fases como vegetativas o reproductivas. Cuando se manifiestan exteriormente son designadas como fases visibles (floración, caída follaje, etc.). Mientras que las fases invisibles (germinación, tuberización, etc.) no se pueden apreciar a simple vista. Una **etapa fenológica** o **subperíodo** está delimitada por dos fases sucesivas.

Figura N°1: Fases y subperíodos



Dentro de ciertas etapas se presentan **períodos críticos**, que son períodos en los cuales la planta presenta la máxima sensibilidad a determinada variable atmosférica (por ejemplo la cantidad de lluvia, o la ocurrencia de algún meteoro como una granizada o una helada), lo que determina variaciones en el rendimiento del cultivo (ver figura 2). Los períodos críticos ocurren cerca de la aparición de una nueva fase. El cultivo puede tener más de un período crítico para una misma variable meteorológica.

Mediante una gráfica de distribución normal (Figura 3) se ilustra como la frecuencia de individuos (plantas) que se encuentran en alguna de las fases se utiliza para definir la condición de inicio, plenitud o fin de fase.

Inicio de fase: sucede una aparición, desaparición o transformación ininterrumpida y en aumento de algún órgano. Comienza un proceso que es continuo y que en pocos días se hace generalizado en la población en estudio. El porcentaje de plantas que presentan la fase observada alcanza o supera el 20 %;

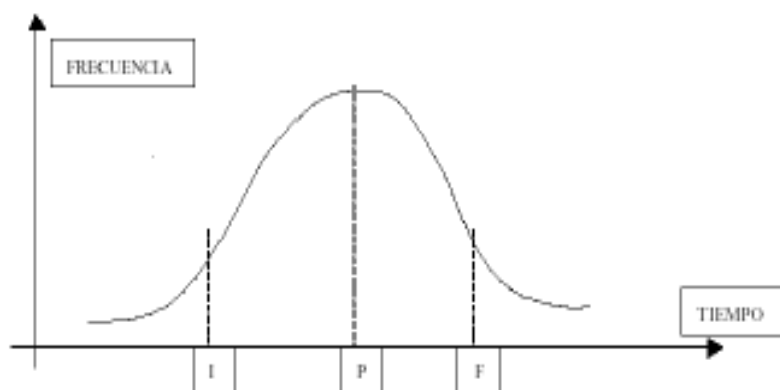


Figura Nº 3: Distribución del número de plantas en las fases fenológicas.

Plenitud de fase: el momento en que el fenómeno tiene su máxima intensidad y el porcentaje alcanza al menos el 50 % de los individuos que se encuentran en la fase

Fin de fase: es la aparición, desaparición o transformación de los últimos órganos de la fase, sin interrumpir la continuidad del proceso. El porcentaje de individuos observados superan el 80 % de la fase en cuestión.

Duración de fase es la cantidad de tiempo (expresada generalmente en días) que transcurre entre el comienzo y el fin de una fase.

La rapidez que expresan los individuos en desarrollar una fase indica el grado de satisfacción que la misma ha logrado en sus necesidades meteorológicas durante el período. Si la ocurrencia de la fase no presenta alteraciones o anomalías respecto a lo observado y medido en años anteriores para la especie se habla de fase normal. No todas las fases del cultivo tienen importancia bioclimática como para observarlas íntegramente en todos sus momentos. Solo se considera la duración de fase en aquellas más importantes, como las que marcan la iniciación de un período de riesgo de daño por algún factor. La floración es la fase típica a observar por sus momentos fenológicos de comienzo, plenitud y fin, ya que la intensidad de esta fase es muy ilustrativa sobre cómo se cumplirá la etapa de reproducción, dado que de su estudio detallado puede llegarse al conocimiento de exigencias y tolerancias bioclimáticas.

II METODOS DE OBSERVACIÓN FENOLÓGICA

Algunos métodos para observación de cultivos agrícolas se detallan a continuación:

A. Observaciones fenológicas en cultivos anuales

Los cultivos extensivos anuales pueden ser clasificarse en densos o ralos. Los cultivos densos corresponden a los cereales de invierno (trigo, avena, cebada, etc), el arroz y las praderas. En este caso el cultivo cubre el terreno y es dificultoso diferenciar las plantas separadamente. Los cultivos ralos son aquellos que se siembran en hileras distanciadas, en los cuales es posible individualizar las plantas sobre los surcos. Es el caso de los cultivos de verano como maíz, girasol, sorgo y soja.

Consideraciones sobre la observación fenológica.

Las observaciones fenológicas deben ser efectuadas en lugares que sean representativos. La elección de los lugares o plantas a observar, independientemente de sus características, deberá ser al azar, evitándose los bordes y cabeceras de los lotes. El momento propicio para la observación dependerá del cultivo y de la fase. El criterio más general es efectuar las observaciones cada 2 o 3 días.

Observaciones en cultivos densos

Se localizarán **cuatro sitios** en la parcela, al azar, individualizándolos con una estaca o cualquier elemento que perdure durante el ciclo del cultivo y que se pueda localizar fácilmente. Se realizarán las observaciones en 10 plantas por sitio, es decir, 40 en cada parcela. Dadas las características de los cultivos densos, no siempre se observarán los mismos individuos. En los cultivos que macollan, como el trigo, hasta que ocurra esta fase se observarán 40 plantas o tallos principales, pero luego

cuando es difícil diferenciar los tallos primarios de los secundarios se tomarán 40 macollos. Se observa y anota el número de individuos o plantas en cada fase por sitio (Ej: 6 plantas con 3 hojas desplegadas, 4 plantas con 2 hojas desplegadas), luego se contabiliza el total de plantas en cada fase y se calculan los porcentajes (para las 40 plantas evaluadas).

Las observaciones en *pasturas o praderas*, debido a la diversidad de especies, hábitos de crecimiento, desarrollo de masa verde, morfología y estructura de la canopia, etc. deberán adaptarse para que responda a lo programado por el observador. Las observaciones pueden realizarse en praderas con los animales en pastoreo, pero para investigaciones específicas es mejor seleccionar la parcela y delimitarla. Es conveniente que las mismas no sean inferiores a 2.500 m² (50 m x 50 m), programándose una de estas parcelas para cada año de observación. En el método propuesto por Todorov la parcela de 2.500 m² deberá dividirse en tres partes principales, dedicándose la I y III para las observaciones fenológicas y estado de las plantas y la II a observaciones fenométricas y estado de suelo, fundamentalmente humedad.

Observaciones en cultivos ralos

Se eligen cuatro sitios al azar y 10 plantas por cada sitio. Las plantas deben estar en dos filas enfrentadas (figura N^o4) y deben ser identificadas por medio de algún elemento que no se deteriore y permita su ubicación en cualquier momento del ciclo. En ambos casos se deberá tener cuidado de no producir daños al cultivo y no modificar el medio al realizar las observaciones. Se observa y se anotan los registros como en el caso anterior.

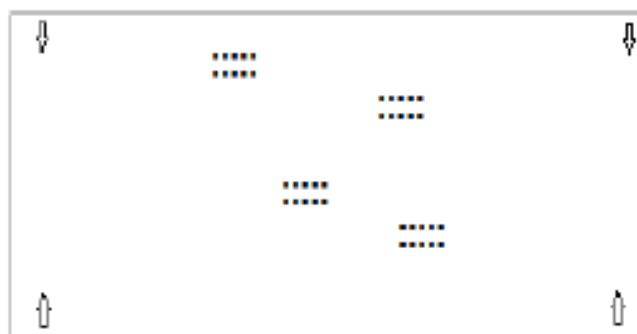


Figura N^o 4: Sitios de muestreo fenológico en cultivos ralos

Recordar: si se registra que el 50% o más de los individuos observados están en una determinada fase, esa es la que corresponde al cultivo.

B. Observaciones fenológicas en cultivos perennes

Cultivos de árboles y arbustos perennes

Las plantas perennes tienen una reacción más uniforme a los factores ambientales y por consiguiente las observaciones fenológicas pueden hacerse en un número menor de plantas. La mayoría de las plantas perennes son árboles o arbustos. Dentro de éstas se hace una diferenciación entre las que tienen un patrón estacional y aquellas que no lo tienen.

Plantas con patrón estacional

Son las que tienen fases fenológicas de aparición simultánea en todas las plantas y en todas las ramas de una misma planta. Este comportamiento es típico de las perennes que crecen en latitudes medias y/o altas donde el desarrollo de las plantas está determinado por las condiciones de luz y temperatura. En este tipo de plantaciones de árboles o arbustos (generalmente montes frutales) las observaciones y registros siguen un método particular. Para cada cultivo se seleccionan 3 a 5 individuos, cada uno de ellos aisladamente representa una repetición. Los individuos seleccionados deben ser de la misma variedad, de la misma edad –o similar– y que presenten un desarrollo normal. Los árboles o arbustos se marcan con pintura indeleble y no tóxica o con etiquetas. Se seleccionan plantas representativas, desechándose aquellas que estén en la periferia de la plantación, o en las cercanías de cortinas rompevientos, así como las que presenten podas artísticas.

Se registrarán solo momentos representativos de las fases; por ejemplo: comienzo de brotación, comienzo de floración, plenitud de maduración del fruto, plenitud de caída de hojas, etc., datos que se utilizan para la confección de boletines fenológicos o para la caracterización bioclimática de las estaciones del año, por medio de plantas especialmente elegidas (Scnelle, 1955).

Plantas sin patrón estacional

Son aquellas que se cultivan en el ecuador o cercanías, dónde prácticamente no existe variación de temperatura ni de la longitud del día. Dentro de una plantación de árboles frutales como el mango, café o cítricos, es común encontrar distintas fases fenológicas simultáneamente, en el pedo observado o incluso en un mismo individuo. Para estos casos es difícil dar guías y normas estrictas para el registro de las observaciones, pero a diferencia de las anteriores, las observaciones no deberán llevarse a cabo en la totalidad de la planta, sino en una de sus ramas, la que deberá ser identificada de igual forma que lo detallado anteriormente.

III ESCALAS DE OBSERVACIONES FENOLÓGICAS

Son escalas que señalan los estadios relevantes del ciclo del cultivo, a partir de la observación de signos macroscópicos (e.g. anthesis) y microscópicos (e.g. iniciación floral). Para un cultivo anual los estadios normalmente considerados son *siembra, emergencia, iniciación floral, anthesis, madurez fisiológica y madurez de cosecha*. Dada la diversidad de intereses y objetivos, cada cultivo cuenta con varias escalas fenológicas.

Para los cultivos tradicionalmente realizados en nuestra provincia y en la región agrícola de nuestro país las escalas fenológicas de mayor aceptación son:

- **Trigo:** Escala de Zadocks
- **Soja:** Escala de Fehr *et al.*
- **Maíz:** Escala de Ritchie y Hanway
- **Girasol:** Escala de Schneiter y Miller

1- Trigo: Escala decimal de Zadock

El desarrollo es un proceso complejo en el que diferentes órganos crecen, se desarrollan y mueren, siguiendo una secuencia que a veces se superpone. Sin embargo, es más sencillo considerar el desarrollo como una serie de fases tal como en la escala de Zadoks. Esta escala describe estados morfológicos externos que involucran algunos procesos de desarrollo y otros de crecimiento.

La escala de Zadoks divide al ciclo del cultivo de trigo en 10 fases o etapas principales numeradas de 0 a 9, cada una de ellas subdividida, a su vez, en 10 etapas secundarias:

Tabla 1: Fases de desarrollo descritos en la escala de Zadoks *et al.*, (1974)

Etapa principal	DESCRIPCIÓN	Sub-fase	Etapa principal	DESCRIPCIÓN	Sub-fase
0	Germinación	0.0-0.9	5	Espigado	5.0-5.9
1	Crecimiento de plántula*	1.0-1.9	6	Antesis	6.0-6.9
2	Macollaje**	2.0-2.9	7	Grano lechoso	7.0-7.9
3	Elongación del tallo	3.0-3.9	8	Grano pastoso	8.0-8.9
4	Vaina engrosada	4.0-4.9	9	Madurez	9.0-9.9

*1.1- 1.9: refleja el número de hojas expandidas en el tallo principal

**2.1 – 2.9: refleja el número de macollos visibles por planta

En primer lugar es necesario decidir cuales son las principales fases que se ajustan mejor a la descripción del cultivo. Sin embargo, también se necesita observar el cultivo en detalle y dar un valor decimal de sub-fase que describe el grado de evolución de la fase principal. Por ejemplo, los estados

Z1.1 a Z1.9 ocurren cuando las hojas del tallo principal (TP) de 1 a 9 son visibles. Del mismo modo, **Z2.1 a Z2.9** describen la aparición de 1 a 9 macollos en la planta y **Z3.1 a Z3.6** la presencia de 1 a 6 nudos en el tallo principal.

Etapa 1: Se caracteriza por la producción de hojas en el tallo principal, las subdivisiones indican el número de hojas expandidas en el tallo principal (lígula visible). Desde la aparición de la primera hoja a través del coleóptilo, las demás aparecen regularmente a un intervalo constante de sumas térmicas denominado *filocrono*, hasta la aparición de la última hoja (hoja bandera).

La etapa de *premacollaje* comprende desde emergencia hasta la aparición de la 4ª hoja que coincide generalmente con la aparición del primer macollo

Las fases principales 1 y 2 describen la producción de hojas y macollos que ocurren en paralelo y no en secuencia. Del mismo modo, hay cierta superposición entre las fases principales 2 y 3. (ver ilustraciones en material complementario "Trigo regado", FAO).

Etapa 2, macollaje: aparición de macollos con alto grado de sincronía con la aparición de hojas, emergen a intervalos de un filocrono. Cabe aclarar que el trigo produce macollos primarios y secundarios, los primarios son los que crecen desde el tallo principal y los secundarios crecen del tallo de los primarios.

Etapa 3, encañazón: los entrenudos se elongan, dando origen al tallo verdadero. Se cuenta el número de nudos del tallo principal. Esta etapa incluye la aparición de las últimas hojas y el período inmediatamente posterior hasta que se visualiza la hoja bandera con la lámina desplegada. Este estado es coincidente con el de vaina engrosada.

Etapa 4, vaina engrosada o estado de bota: momento en el que la espiga está encerrada en la vaina de la hoja bandera. En este momento se produce la meiosis de los granos de polen y el cultivo es muy sensible a heladas, estrés hídrico y altas temperaturas.

Etapa 5, espigazón: es la emergencia de la espiga, ocurre inmediatamente antes que la floración. Es la primera señal macroscópica de que la planta está en estado reproductivo, aunque la espiga ya fue desarrollada con anterioridad. El período espigazón - antesis resulta crítico para la ocurrencia de heladas y en función de esto se determinan las fechas de siembra.

El número que sigue al punto decimal denota el grado de desarrollo de ese proceso particular. De esta manera, **Z5.1** ocurre cuando el promedio de las espigas en el campo tiene un 10 por ciento emergida (espiga asomando), mientras que **Z5.5** cuando el promedio de las espigas muestra un 50 por ciento de emergida, es decir la mitad de la espiga es visible.

Etapa 6, antesis: se llama así el momento en que las anteras amarillas son claramente visibles en las espigas. Cada lemma y palea de la flor se separan al hincharse sus lodículos lo que permite que las anteras emerjan. La antesis o floración marca el comienzo de la formación y llenado del grano. Cuando las anteras están recién abiertas son de color amarillo brillante pero se decoloran en tres o cuatro días (mitad de la antesis o **Z6.5**).

Etapa 7, 8 y 9 corresponden a grano lechoso, pastoso y madurez fisiológica respectivamente. Entre la floración y la madurez se produce el llenado de los granos. Al llegar a la madurez fisiológica los granos alcanzan su máximo tamaño. Entre el estado de grano lechoso y pastoso el contenido de agua del grano se hace constante. Este período constituye una fase crítica del llenado de grano y una deficiencia hídrica afecta la migración de asimilados al grano reduciendo el peso final de los mismos.

La figura siguiente (Figura N°5) relaciona las fases externas de la escala Zadoks y los dos estados internos observables en el ápice, doble arruga y espiguilla terminal. Muestra el momento en que se inician, crecen y mueren los componentes del tallo (recuadros) y cuándo se forman los componentes del rendimiento (barras). Esta figura ayudará a identificar qué componentes están siendo afectados por las prácticas del agricultor en un determinado momento.

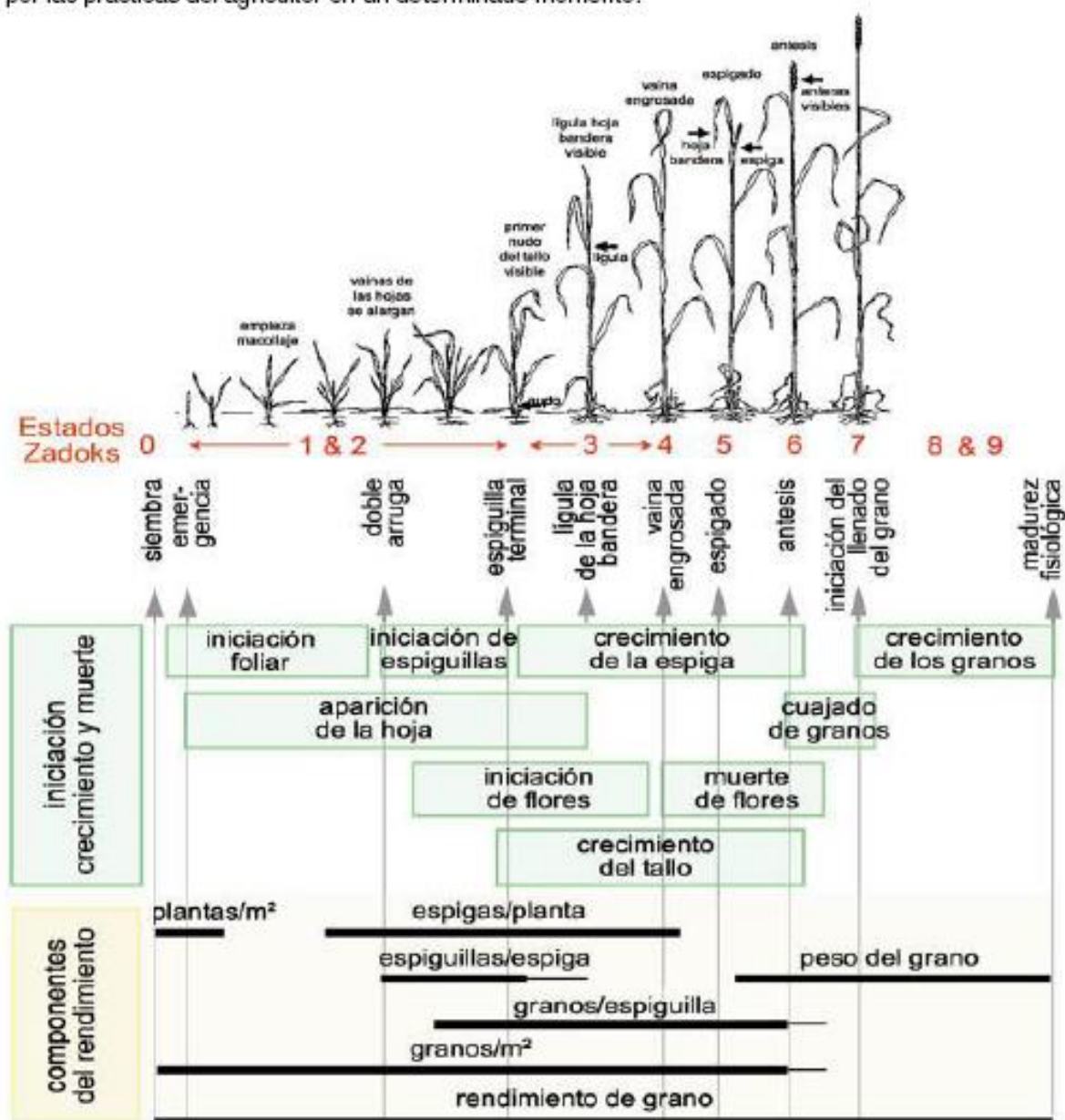


Figura N° 5: Componentes del rendimiento de trigo y fases del desarrollo

Fuente: FAO, 2001. Trigo Regado

Escala fenológica de TRIGO según Zadocks

0	Germinación		4	Embuche
00	Semilla seca		41	La vaina de la hoja bandera se extiende
01	Empieza imbibición		43	Embuche apenas visible
03	Imbibición completa		45	Embuche hinchado
05	La radícula emerge de la semilla		47	La vaina de la hoja bandera se abre
07	El coleoptilo emerge de la semilla		49	Las primeras aristas visibles
09	Hoja justo en la punta del coleoptilo			
1	Crecimiento de la plántula		5	Emisión de la espiga
10	Primera hoja emerge del coleoptilo		51	La primera espiguilla de la espiga apenas visible
11	Primera hoja desplegada		53	Emerge una cuarta parte de la espiga
12	Dos hojas desplegadas		55	Emerge la mitad de la espiga
13	Tres hojas desplegadas		57	Emergen tres cuartos de la espiga
14	Cuatro hojas desplegadas		59	Emisión completa de la espiga
15	Cinco hojas desplegadas			
16	Seis hojas desplegadas		6	Floración
17	Siete hojas desplegadas		61	Comienzo de la floración.
18	Ocho hojas desplegadas		65	Mitad de la floración completa
19	Nueve o más hojas desplegadas		69	Floración completa
2	Macollaje		7	Estado lechoso
20	Sólo el brote principal		71	Madurez acuosa
21	Brote principal y un macollo		73	Estado lechoso temprano
22	Brote principal y dos macollos		75	Estado lechoso medio
23	Brote principal y tres macollos		77	Estado lechoso tardío
24	Brote principal y cuatro macollos			
25	Brote principal y cinco macollos		8	Estado pastoso
26	Brote principal y seis macollos		83	Comienzo de estado pastoso
27	Brote principal y siete macollos		85	Madurez pastosa suave (la impresión de la uña no permanece)
28	Brote principal y ocho macollos		87	Madurez pastosa dura (la impresión de la uña se mantiene, la testa pierde clorofila)
29	Brote principal y nueve o más macollos			
3	Alargamiento del tallo		9	Madurez
30	Pseudotallo erecto		91	Grano duro (difícil de dividir con la uña)
31	Se detecta el primer nudo		92	Grano duro (no se puede marcar con la uña)
32	Se detecta el segundo nudo		93	Grano suelto durante el día
33	Se detecta el tercer nudo		94	Sobremadurez, paja muerta
34	Se detecta el cuarto nudo		95	Dormancia de la semilla
35	Se detecta el quinto nudo		96	Semilla viable germina un 50 %
36	Se detecta el sexto nudo		97	Semilla sin dormancia
37	Hoja bandera apenas visible		98	Dormancia secundaria inducida
39	Ligula de la hoja bandera apenas visible		99	Dormancia secundaria perdida

2- Soja: Escala de Fehr y Caviness

La escala desarrollada por Fehr y Caviness, es la más utilizada para la descripción de los estadios fenológicos externos del cultivo de soja, donde se distinguen dos etapas principales; una que describe los **estados vegetativos (V)** y la otra los **estados reproductivos (R)** (Tabla N° 2). Con

respecto a esta característica cabe aclarar que la transición del estado vegetativo al reproductivo para trigo, maíz y girasol es marcado: la diferenciación de estructuras vegetativas cesa cuando el ápice se transforma en reproductivo. En cambio en la soja el cambio es más gradual y coexisten en el tiempo meristemas vegetativos y reproductivos. Esta característica hace que se denomine a la soja como determinada o indeterminada según la magnitud de la superposición de estados vegetativos y reproductivos. Las subdivisiones de los estados V son designados numéricamente como V1, V2, V3, hasta V(n), con excepción de los dos primeros estados, los cuáles son designados como VE (emergencia) y VC (cotiledonar). El último estado es designado como V(n), donde (n) representa el número del último estado nodal desarrollado. El valor de (n) cambia con la variedad y las diferencias ambientales. Las ocho subdivisiones de los estados R son designadas numéricamente y con sus respectivos nombres comunes.

Tabla N° 2: Estados vegetativos según Fehr et al.

VE Emergencia	Cotiledones sobre la superficie del suelo.
VC Cotiledonar	Hojas unifoliadas suficientemente desarrolladas de manera que los bordes no se tocan
V1 Primer nudo	Hojas completamente desarrolladas en los nudos unifoliados
V2 Segundo nudo	Hoja trifoliada completamente desarrollada en el nudo que está por encima de los nudos unifoliados
V3 Tercer nudo	Tres nudos en el tallo principal con hojas totalmente desarrolladas, comenzando con los nudos unifoliados
Vn nudo	N nudos en el tallo principal con hojas completamente desarrolladas, comenzando con los nudos unifoliados (que se cuentan)

Estados Reproductivos

Los ocho estados reproductivos (R) están agrupados en 4 etapas: R1 y R2, describen la floración; R3 y R4, la formación de vainas; R5 y R6, el desarrollo de la semilla y R7 y R8, la madurez. El crecimiento vegetativo y la producción de nudos continúan a través de algunos estados R, comprendiendo los estados V hasta alcanzar el número final de nudos. Los estados R1 a R6 son los

que mejor describen el desarrollo de la planta. La descripción de los estados R corresponden al inicio y la plenitud de cada etapa.

La entrada a la fase reproductiva se caracteriza por el cambio de estado de un meristema axilar, progresando hacia los restantes meristemas y deteniendo la diferenciación de estructuras vegetativas recién cuando alcanza el meristema apical. Es importante relacionar el desarrollo de estructuras vegetativas (hojas) con el rendimiento del cultivo, puesto que cada nudo es un sitio de potencial desarrollo de vainas. También hay que considerar que la inducción floral en la soja se acelera con días de bajo fotoperíodo, condición que limitaría el desarrollo de las estructuras vegetativas por un rápido cambio del meristema a un estado reproductivo.

La floración se inicia en R1, en el tercer al sexto nudo del tallo principal y luego progresa hacia arriba y abajo. Cuando el frente de floración alcanza el nudo n-1 se define el estado fenológico R2. En cuanto al estado R3, este se logra cuando alguno de los 4 nudos superiores con una hoja totalmente expandida presenta una vaina de 5 mm de longitud. Es en este período donde factores estresantes para el cultivo puede reducir el número de vainas, pero la pérdida puede ser compensada con la formación de nuevas flores y frutos. Para alcanzar el estado R4 la planta debe desarrollar una vaina de 20 mm en cualquiera de los 4 nudos superiores del tallo principal con una hoja completamente desarrollada. Cuando comienza el período efectivo del llenado de los granos, las vainas ya han alcanzado su máximo tamaño. El estado R5 se alcanza cuando una vaina situada en algunos de los 4 nudos superiores del tallo principal posee semillas de 3 mm de longitud. Aproximadamente en el estadio 5,5 (intermedio entre estadio 5 y 6) la planta alcanza la mayor altura, área foliar y número de nudos. En R6 las vainas superiores del tallo principal tienen semillas que ocupan completamente la cavidad de la vaina. El estado R7 corresponde a la madurez fisiológica de las primeras vainas, mientras que R8 corresponde a la madurez de cosecha.

Tabla Nº 3: Estados reproductivos según Fehr et al.

R1 Comienzo floración	Una flor abierta en cualquier nudo del tallo principal.
R2 Plena floración	Flor abierta en uno de los dos nudos superiores (con una hoja completamente desarrollada) del tallo principal.
R3 Inicio fructificación	Vaina de 5 mm de largo en uno de los 4 nudos superiores (con una hoja completamente desarrollada) del tallo ppal.
R4 Plena fructificación	Vaina de 2 cm. de largo en uno de los 4 nudos superiores (con una hoja completamente desarrollada) del tallo ppal.
R5 Principio de desarrollo de semilla	Semilla de 3 mm de largo en una vaina de uno de los 4 nudos superiores (con una hoja completamente desarrollada) del tallo principal.
R6 Pleno desarrollo de semilla	Vaina que contiene una semilla verde que llena su cavidad, en uno de los 4 nudos superiores (con una hoja completamente desarrollada) del tallo principal.
R7 Comienzo de madurez	Una vaina normal en el tallo principal que ha alcanzado su color normal a la madurez.
R8 Plena Madurez	95% de las vainas han alcanzado su color normal a la madurez. Se requieren 5-10 días de tiempo seco después de R8 para que la semilla tenga menos del 15% de humedad

El período más crítico para la determinación del rendimiento comienza en R3-R4 y se extiende hasta R6. El período R4,5 a R5,5 es especialmente crítico pues la floración se completa y las vainas y semillas pequeñas pueden abortar bajo condiciones ambientales no adecuadas.

Ver también " Desarrollo y crecimiento de una planta de soja, descripción de cada una de las etapas fenológicas" en: <http://www.planetasoja.com>

3- Maíz : Escala de Ritchie y Hanway (1982)

Una de las escalas más utilizadas para describir el desarrollo del maíz es la de Ritchie y Hanway que denomina V (vegetativos) a los estadios previos a la floración y R (reproductivos) a los siguientes. Como la mayoría de las escalas diseñadas para aplicaciones agronómicas, no distingue los estadios reproductivos previos a panojamiento, aunque describe con bastante detalle los distintos estados de crecimiento del grano.

Tabla N°4: Estados fenológicos de maíz según la escala de Ritchie y Hanway

VE Emergencia	Elongación del mesocótilo, que empuja al coleoptilo sobre la superficie del suelo.
V1 Primera hoja	Aparición de primer hoja, ovalada, punto de referencia para contar hacia arriba las hojas que tengan collar visible.
V2 Segunda hoja	Dos hojas emergidas.
V3 Tercera hoja	Tres hojas emergidas
V(n) Enésima hoja	Enésima hoja emergida.
VT Panojamiento	Emergencia de la inflorescencia masculina de la hoja superior.
R1 Estigmas visibles	Estigmas visibles fuera de las chalas
R2 Grano acuoso	Los granos son blancos por fuera y tienen forma de ampolla. Consistencia blanda al tacto. Al apretarlo deja salir un líquido claro (endosperma fluido).
R3 Grano lechoso	Grano color amarillo en su exterior y el interior lechoso, debido a la acumulación de almidón. La mayoría de los granos ha sobresalido de las estructuras que lo sujetan al marlo
R4 Grano pastoso	El interior del grano se espesa y alcanza consistencia pastosa. El color del marlo varía entre el rojo claro y el rosa, debido al cambio de color de las lemmas y las palea
R5 Indentación	Casi todos los granos están indentados. Marlo de color rojo oscuro
R6 Madurez fisiológica	Formación de la capa negra. Comienza con los granos de la punta de la espiga y continúa hacia los de la base. Las chalas y la mayoría de las hojas están secas, los tallos todavía pueden estar verdes. Los granos de la espiga han alcanzado su máximo peso seco.

*collar: zona de unión de la vaina y la lámina.

** capa negra: línea de abscisión que se forma en la zona del grano en que se une al marlo. Se debe a que se han necrosado los haces vasculares.

Estados vegetativos

La emergencia de la radícula señala macroscópicamente la germinación. Ésta es seguida por el crecimiento del coleóptilo junto con la plúmula y tres o cuatro raíces seminales laterales. Finalmente, el mesocótilo se extiende acercando la extremidad superior del coleóptilo a la superficie del suelo, hasta que la planta emerge. Los estados posteriores se determinan contando la cantidad de hojas completamente desplegadas. Se considera que se alcanzó esta condición cuando se puede observar la lígula. El estado VT se alcanza cuando la última ramificación de la panoja es visible y se inicia la liberación de polen. En este estado las plantas alcanzan la máxima altura y área foliar.

Estadios Reproductivos

El estado R1 o sedas, consiste en la emergencia de los estigmas a través de las vainas (chalias) que cubren la espiga. Los primeros en aparecer son los de las espiguillas de la mitad inferior de la espiga. Los de la mitad superior, aunque comenzaron a elongarse más tarde que los de la base tienen que recorrer una distancia menor y terminan emergiendo junto a los otros. Los estigmas cuyas flores son fecundadas cesan su crecimiento, mientras que los no fecundados siguen creciendo hasta 10 días después de su emergencia. La antesis determina el total de óvulos fertilizados y el número queda definido al finalizar la liberación de polen. En R2 se produce el cuaje de los granos, que se presentan con un aspecto semejante a una ampolla blanca. En este momento se produce una activa división celular que da origen a las células endospermáticas. Por otro lado, los estigmas alcanzan un

color oscuro y comienzan a secarse. El número de granos por planta puede disminuir durante este periodo, proceso que abarca entre 10 a 20 días después de floración, según la temperatura y el genotipo considerado. Un estrés ambiental en este periodo afecta la polinización y el cuajado de granos, especialmente el estrés hídrico que acentúa el desfase entre la emisión del polen y la emergencia de los estigmas (protandria) afectando el número de granos fertilizados. Este es el momento más crítico para la determinación del rendimiento ya que se afecta el componente del rendimiento más importante: el número de granos

En el estado R3 los granos alcanzan un aspecto lechoso, son amarillentos por fuera y su líquido interno es blanquecino. Un estrés en este estado afectará principalmente el peso de los granos. Debido a la intensa acumulación de almidón, los granos toman un aspecto pastoso alcanzando así el estado R4. En la mitad de este estadio, el embrión se extiende a través de más de la mitad del ancho del grano, la diferenciación de las hojas y semillas seminales se completa. En esta etapa comienza a secarse la parte superior del grano provocando la dentición. En el estado R5 se completa la dentición del grano. El marlo adquiere color rojo oscuro y los granos comienzan a perder humedad desde la parte superior. Aparece una línea blanca del lado opuesto del embrión que avanza hacia la base del grano a medida que este madura. La madurez fisiológica corresponde al máximo peso seco de los granos. Las hojas y vainas han fenecido, aunque el tallo puede permanecer verde. La capa de almidón avanzó completamente a la base del grano y se forma una capa de abscisión marrón o negra, por el necrosamiento de los haces vasculares que alimentan al grano. Este proceso ocurre desde los granos superiores de la espiga hacia los inferiores

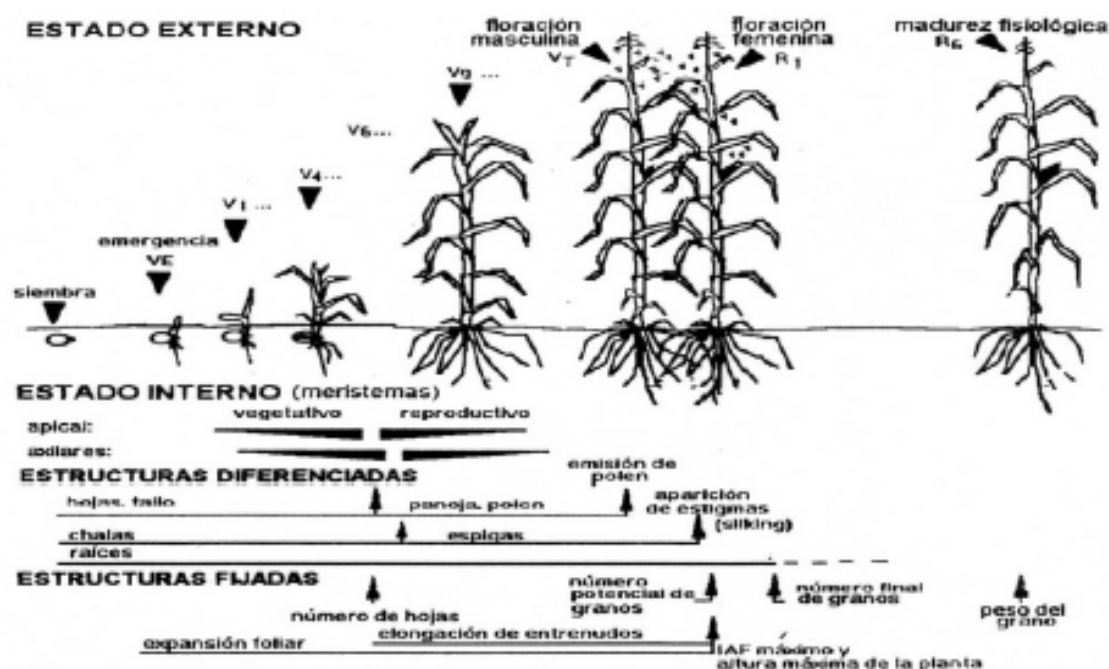


Figura N° 4: Representación esquemática del ciclo ontogénico del cultivo de maíz

Fuente: Satorre, 2003. Producción de Granos

Además de los cambios morfológicos externos descritos, el desarrollo del cultivo involucra cambios internos no perceptibles a simple vista. Los trabajos más recientes se han enfocado en la actividad de los meristemas y se ha encontrado un paralelismo entre los cambios internos y externos que permiten una mejor comprensión de la generación del rendimiento y de los efectos que pueden producir las intervenciones agronómicas. En la siguiente figura se representan los cambios morfológicos externos e internos en el cultivo de maíz

4- Girasol: Escala de Schneiter y Miller (1981)

Esta escala igual que la de maíz y soja hace diferencia en los estados vegetativos y reproductivos, indicando con la letra V los primeros y con la R los segundos. En coincidencia con las otras dos

escalas mencionadas, esta también considera aspectos macroscópicos del desarrollo para identificar los diferentes estados.

Tabla Nº 5: Escala fenológica de GIRASOL según SCHNEITER – MILLER

Etapa	Días desde siembra	Descripción
VE	6-9	<i>Emergencia de la plántula. Primera hoja debajo de cotiledones menor de 4 cm.</i>
V(n)	9-43	<i>Se determina contando el número de hojas verdaderas de más de 4 cm.</i>
R1	44-51	<i>Inflorescencia rodeada de brácteas inmaduras comienza a ser visible, apareciendo como una estrella de varias puntas.</i>
R2	52-58	<i>El botón floral inmaduro se elonga 0,5-2 cm encima de la hoja más cercana.</i>
R3	59-66	<i>El botón floral se elonga más de 2 cm de la hoja más cercana.</i>
R4	67-76	<i>La inflorescencia comienza a abrirse</i>
R5 1-9	77-84	<i>Comienza la floración. Este estado se subdivide según porcentaje de área que completó floración o está floreciendo. Ej 30%- 5.3</i>
R6	85-94	<i>Se completó floración y se marchitan las flores liguladas.</i>
R7	95-102	<i>El revés del capítulo comienza a colorearse amarillo pálido.</i>
R8	102-110	<i>El revés del capítulo es amarillo pero las brácteas permanecen verdes.</i>
R9	110-125	<i>Las brácteas se tornan amarillas y marrones. Se alcanza la madurez fisiológica.</i>

Estado vegetativo

Luego de la siembra, bajo condiciones ambientales favorables, la radícula atraviesa las cubiertas seminales y el hipocótilo se alarga hasta llegar a la superficie del suelo y los cotiledones emergen. Pero la implantación se considera completa cuando aparece la primera hoja verdadera.

Luego de la emergencia se suceden los estados V1, V2, V3, Vn, siendo n el número final de hojas verdaderas mayores de 4 cm de longitud.

Estado reproductivo

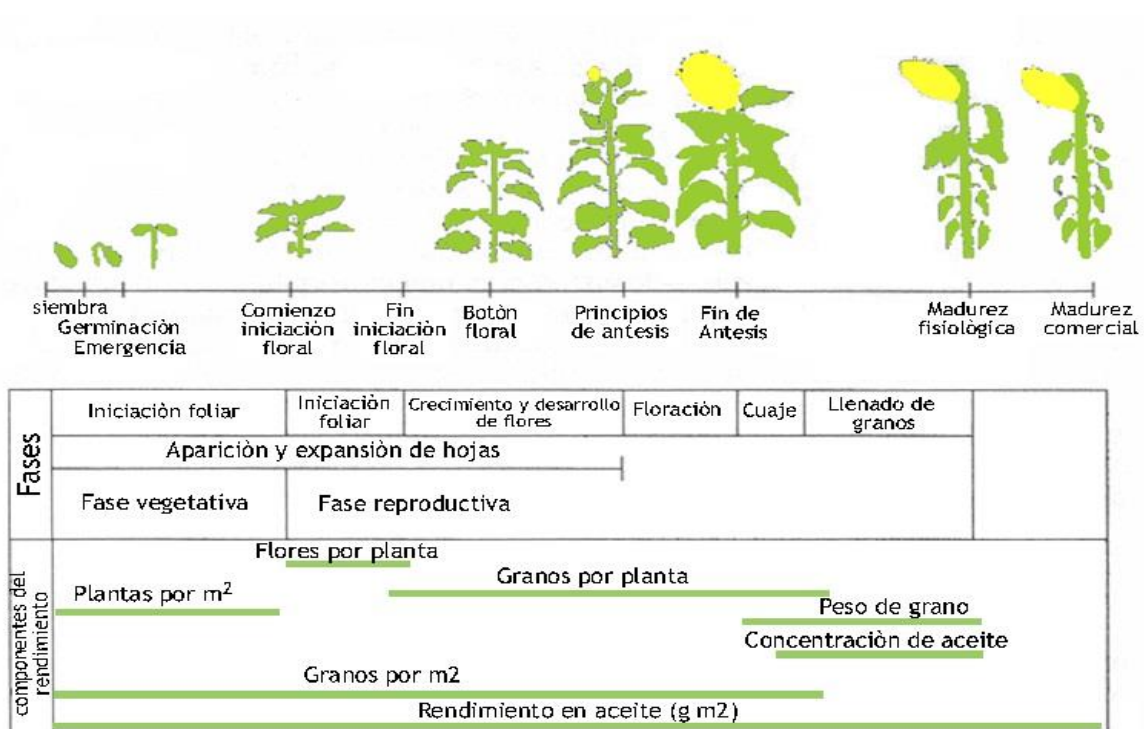
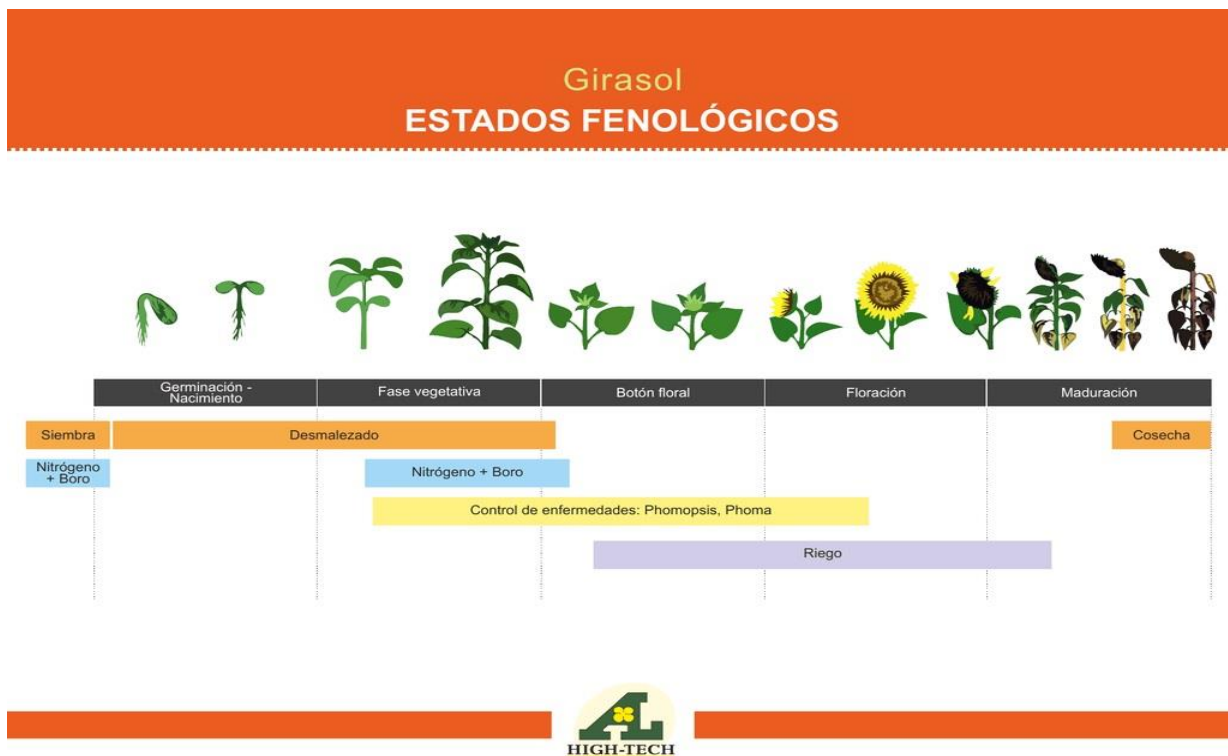
El proceso de diferenciación del ápice vegetativo a reproductivo es gradual, comenzando en la periferia del primordio del capítulo y terminando con los círculos florales centrales. Este momento de diferenciación depende de la temperatura y el fotoperíodo. A pesar que la determinación del rendimiento depende en gran medida de la diferenciación floral, la dificultad de su determinación hace que en la práctica no se utilice y se observen estados posteriores, el de estrella visible y botón floral, en los cuales el número de flores ya está definido.

R1 es alcanzado cuando la inflorescencia, rodeada por brácteas inmaduras, se hace visible con apariencia de estrella. El estado R2 queda determinado cuando el entrenudo debajo de la base de la inflorescencia alcanza 0,5 a 2 cm. Durante R3 el entrenudo continúa alargándose, ubicando el receptáculo a más de 2 cm por encima de las hojas circundantes. Cuando la inflorescencia comienza a abrirse y se pueden observar las flores liguladas, se alcanza el estado R4.

El estado R5 corresponde a la antesis, la que avanza en sentido centripeto en el capítulo, pudiendo dividirse en subestadios según el porcentaje del área que se encuentra en antesis. El desarrollo y fecundación secuencial de las flores confiere al girasol cierta plasticidad para afrontar períodos breves de estrés. No obstante, existe un período crítico para la determinación del número de granos de 40 días alrededor de floración. El final de la floración determina el período R6.

Finalizada la floración comienza el llenado de granos, que abarca desde R7 a R9. En R7 la parte posterior de la inflorescencia comienza a amarillarse. Cuando ésta se encuentra totalmente amarilla, pero las brácteas continúan verdes se inicia el estadio R8. Cuando las brácteas se vuelven amarillas y la parte posterior del capítulo toma color marrón, se alcanza el estadio R9. Este es el momento considerado como madurez fisiológica.

De manera similar a lo detallado en los otros cultivos, el desarrollo del cultivo incluye además de los cambios morfológicos externos observables, cambios internos que ocurren de manera simultánea. En la siguiente figura se representan los cambios internos, externos y los períodos en los cuales se definen distintos componentes del rendimiento.



Bibliografía

- ANDRADE, Fernando H. y Sadras, Víctor O. 2000 "Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja".Edit. Médica Panamericana S.A. 443 pág.
- ANDRADE, Fernando H., Cirilo, Alfredo G., Uhart Sergio A., Otegui, María E. 1996. "Cultivo de Maíz". Edit. Médica Panamericana S.A. 292 pág.
- BAIGORRI, Héctor E. 1997. "El cultivo de la soja en la Argentina". Editorial INTA. 448 pág.
- BENAVIDEZ, René. 2006. "El Arroz, su cultivo y sustentabilidad en Entre Ríos". Ediciones UNL y EDUNER. Vol. I, 314 pág. y Vol. II, 716pág.
- CONRAD, V. e I. POLLAK, 1950. "Methods in Climatology". Harvard University Press Cambridge, U.S.A..
- GARABATOS, M, 1990. "Temas de Agrometeorología. Orientación. Gráfica." Editora. Tomo 1 y Tomo 2. Bs.As.
- LOMAS, J y R. W. Gloyne, 1988. "Compendio de apuntes para la formación de personal agrometeorológico de las clases y III". Nota Técnica N° 551, OMM, Ginebra, Suiza.
- LONGLEY, R., 1973. "Tratado ilustrado de Meteorología". Ed. Bell, Bs. As.
- PETTERSEN, S. 1974 "Introducción a la meteorología". Espasa Calpe. Arg. S.A. Buenos Aires.
- DE FINA Armando L. y A. C. RAVELO. "Climatología y Fenología Agrícolas", EUDEBA, 1973.
- GLOYNE R. W. y J. LOMAS. "Compendio de apuntes para la formación del personal agrometeorológico de las Clases II y III" OMM N° 551, Ginebra, Suiza, 1988.
- PLANCHUELO-RAVELO Ana, A. C. RAVELO y A. J. PASCALE. "Seminario en Fenología Agrícola", Apuntes, Quito, Ecuador, 1987.
- RUGGIERO, R. A. "Fenología Vegetal y Animal". Instituto de suelos y agrotécnica, Tirada Interna N°4, INTA, 1967.
- TODOROV, A. V. "Compendio de apuntes de meteorología agrícola para la formación del personal meteorológico de la Clase IV" OMM N° 593, Ginebra, Suiza, 1985.
- SADRAS, V. O. y F. J. Villalobos. 1994. Physiological characteristics related to yield improvement in sunflower (*Helianthus annuus* L.) pp. 287-320. En: G. A. Slafer (Ed.) Genetic Improvement of Field Crops. Marcel Dekker, New York.
- Roberts, E., R. Summerfield, R. Ellis y A. Qi. 1993. Adaptation of flowering in crops to climate. Outlook in Agriculture 22:105-110.
- Revista Brasileira de Meteorologia, v.22, n.1, 75-82, 2007, [en
http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v22n1/a08v22n1.pdf](http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v22n1/a08v22n1.pdf)

