



FACULTAD DE
AGRONOMIA

[Curso de Fisiología de los Cultivos – Módulo Horticultura
Facultad de Agronomía – Universidad de la República]

Bases Fisiológicas del crecimiento y desarrollo de los principales cultivos hortícolas

Tomate (*Lycopersicon sculentum*), Papa (*Solanun tuberosum*) y
Cebolla (*Allium cepa*)

Ing. Agr. PhD. Santiago Dogliotti
Ing. Agr. MSc Paula Colnago
Ing. Agr. PhD Guillermo Galván
Ing. Agr. Luis Aldabe

Marzo 2011

Tabla de Contenido

1	Introducción	<i>Pág.</i> 3
2	Bases Fisiológicas del crecimiento y desarrollo del tomate (<i>Lycopersicum esculentum Mill</i>)	4
3	Bases Fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum L</i>)	23
4	Bases Fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de cebolla (<i>Allium cepa L.</i>)	39
5	Ejercicios Teórico-Prácticos	59
6	Resolución de ejercicios	72

1. Introducción

El objetivo del curso de Fisiología de los Cultivos es analizar las bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo de las principales especies de importancia económica en Uruguay que, en interacción con los factores del ambiente, determinan las diferentes prácticas de manejo.

Dentro del Módulo Hortícola analizaremos tres cultivos de gran importancia a nivel nacional y mundial. Estos cultivos son ejemplos de tres modelos de crecimiento y desarrollo distintos y representativos de muchos otros cultivos. El cultivo de tomate (Cap. 2) lo estudiaremos como ejemplo de ciclo indeterminado y de frutos como órganos cosechados. La papa (Cap. 3) y la cebolla (Cap. 4) son ejemplos de ciclos determinados pero con diferencias en la transición de la fase de crecimiento del follaje a la fase de crecimiento de los órganos de reserva. En estos cultivos se profundizará en los procesos de tuberización (papa) y bulbificación (cebolla) y los factores internos y del ambiente que los controlan.

El último capítulo contiene ejercicios de dificultad y características similares a los que se enfrentarán en la evaluación del módulo y en el examen. Algunos de estos ejercicios serán resueltos y discutidos en los prácticos. Es muy recomendable como forma de auto-evaluación del aprendizaje tratar de resolver todos los ejercicios planteados.

2. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill)

2.1 Características generales del cultivo

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller), pertenece al género *Lycopersicon* de la familia de las Solanáceas. Este es un género pequeño constituido por el tomate y siete especies salvajes muy relacionadas. El lugar original de domesticación del tomate es incierto, pero las evidencias más importantes indican a Méjico. El centro de origen del género *lycopersicon* se encuentra en zonas de baja altitud y costeras del Perú, con clima generalmente tropical, pero con bajo nivel de precipitaciones. El tomate es capaz de crecer en un rango amplio de condiciones ambientales, pero, de acuerdo a su lugar de origen, su crecimiento se detiene a temperaturas medias por debajo de 10 °C o por encima de 30 °C y no tolera heladas, ni condiciones de anegamiento del suelo.

El tomate en el Uruguay es el segundo rubro hortícola después de la papa por su contribución al VBP. En el año 2000 se sembraron 1.138 ha correspondientes a 1.118 a campo y 220 hectáreas bajo invernáculo (DIEA, 2001). En el año 2002, la superficie relevada por las encuestas fue 884 hectáreas con una producción total que superaba las 41 mil toneladas (DIEA, 2003). El mercado interno se encuentra abastecido con tomate de mesa de producción nacional durante todo el año. Para lograr este objetivo se cultiva tomate en zonas con distinta aptitud agro-ecológica y utilizando tecnologías de producción muy diversas (Figura 1). El tomate con destino a industria se cosecha solamente en los meses de enero, febrero y marzo.

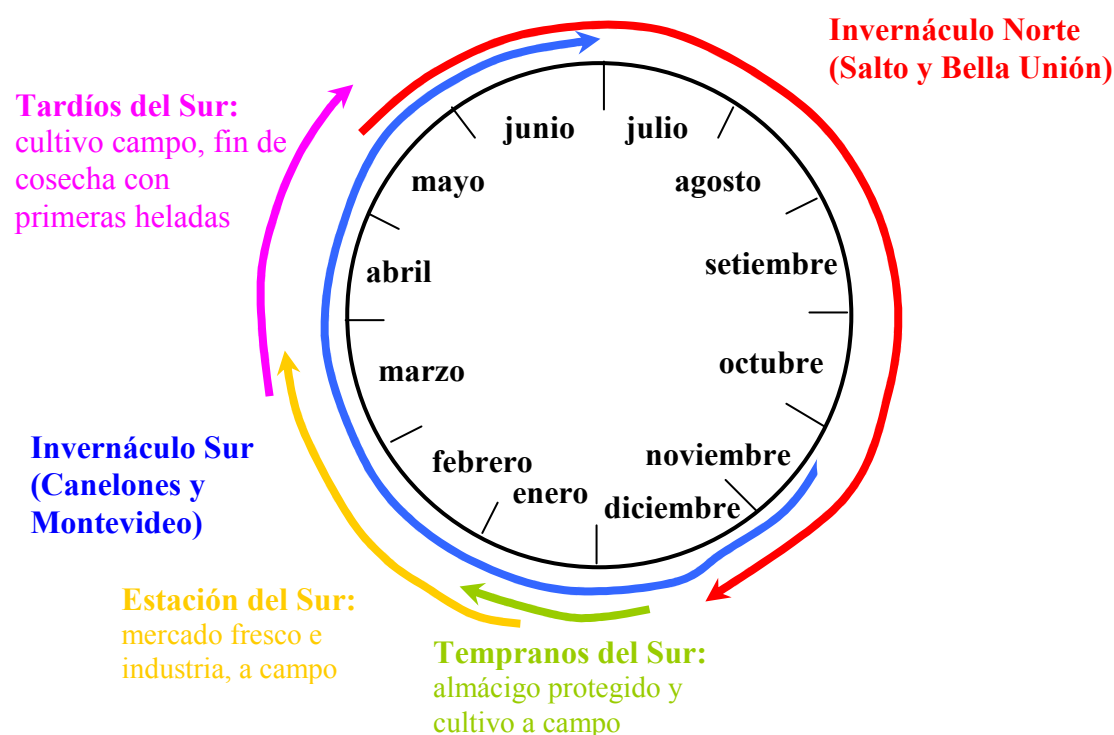


Figura 1. Períodos de cosecha de tomate en Uruguay según zona de producción y tecnología de cultivo.

2.2 Morfología, etapas del desarrollo y modelos de crecimiento

Luego de la emergencia, la planta de tomate se desarrolla con un solo tallo, produciendo un número variable de hojas (5-10) antes de que la yema apical se transforme en una **inflorescencia terminal** de tipo racimo. El crecimiento continúa a través de las yemas axilares las cuales producen ramas que se desarrollan de la misma forma. En plantas de hábito **indeterminado** la yema de la axila de la hoja más joven (la inmediatamente inferior a la inflorescencia terminal) es la que continúa el crecimiento e inhibe la brotación de otras yemas axilares (al menos por un período). Esta yema crece y mueve a la hoja más joven a una posición por encima de la inflorescencia la cual es desplazada hacia el costado, dando la apariencia de un crecimiento continuo del tallo principal. Luego de diferenciadas 3 o 4 hojas, esta yema se transforma en una segunda inflorescencia terminal. Esta secuencia de crecimiento y desarrollo se repite indefinidamente durante todo el ciclo de la planta de hábito indeterminado. A la porción de tallo que incluye 3 o 4 hojas y un racimo se le llama "simpodio" (Fig. 2). En las plantas de tipo **determinado** hay una fuerte brotación de yemas axilares y se producen menor número de hojas por simpodio, dando lugar al típico hábito arbustivo de estos cultivares. Por lo tanto, el hábito de crecimiento del cultivo de tomate varía entre dos tipos principales llamados "indeterminados" y "determinados", sin embargo del punto de vista botánico ambos tipos son determinados, ya que la yema apical siempre se diferencia en una inflorescencia terminal (Atherton y Rudich, 1986). Las principales diferencias entre ambos tipos se explican en la Tabla 1.

El tallo de tomate es herbáceo, no se lignifica, por lo tanto si no se utilizan estructuras de soporte y conducción (hilos, cañas, etc.) que sostengan a las plantas estas crecen de forma rastrera. Los cultivos de estación, a campo, pueden tener un largo de ciclo desde el trasplante de 4 a 5 meses. El largo del ciclo de un cultivo bajo invernáculo en nuestro país puede variar entre 5 y 10 meses desde el trasplante, pudiendo llegar a un largo de planta de hasta 7 metros. Esto requiere que las plantas deban ser bajadas varias veces cuando llegan al tope de la estructura de conducción

El fruto de tomate es una baya formada por una pared carnosa (pericarpo) y la pulpa que rellena las cavidades locales (tejido placentario) rodeando a las semillas. Los frutos pueden tener de dos a varios carpelos y un tamaño potencial variable entre pocos gramos (cherry) y varios cientos de gramos (Atherton y Rudich, 1986).

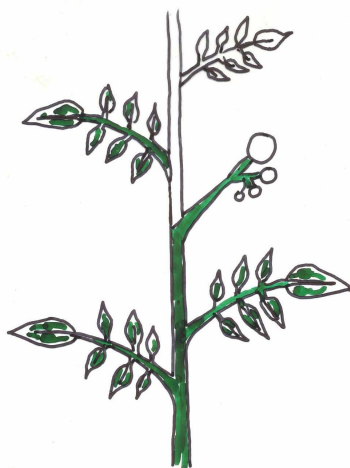


Figura 2. Unidad de crecimiento en la planta de tomate o 'simpodio', incluyendo tres hojas y un racimo.

Tabla 1. Principales diferencias entre cultivares de tomate con hábito de crecimiento de tipo 'determinado' e 'indeterminado'.

Determinado	Indeterminado
<ul style="list-style-type: none"> • Fuerte tendencia a la ramificación • 1 o 2 hojas por simpodio • Floración y maduración de frutos concentrada • Hábito arbustivo • No se realiza poda ni raleo de frutos • Producción a campo de estación, sin conducción y con posibilidades de cosecha mecánica • Tomate industria o doble propósito 	<ul style="list-style-type: none"> • Ramificación débil • 3 o 4 hojas por simpodio • Floración y maduración distribuída en un largo período • Hábito rastrero • Siempre se podan y pueden ralearse frutos • Producción a campo o invernáculo. Siempre se conducen y cosechan manualmente • Tomate de mesa

De aquí en adelante nos vamos a concentrar en los cultivares de tomate de tipo indeterminados, por tener estos un modelo de crecimiento muy diferente a los de otros cultivos que ustedes han estudiado o estudiarán en el correr de este curso. A diferencia de los cereales, el tomate no detiene el desarrollo y crecimiento de nuevas hojas una vez iniciada la floración o etapa reproductiva, y particularmente los de tipo indeterminado, mantienen en forma simultánea el crecimiento del follaje y de los frutos a lo largo de todo el ciclo del cultivo (Fig. 3). En el período entre la emergencia y el cuajado de los primeros frutos el crecimiento se concentra en el área foliar, los tallos y las raíces. A medida que va aumentando el número de frutos en crecimiento (por la aparición escalonada de nuevos racimos), la proporción del crecimiento total de la planta que corresponde a los frutos va aumentando (Fig. 3).

Cuando expresamos el crecimiento de una planta o cultivo como acumulación de materia seca, la proporción del crecimiento total del cultivo que corresponde a una determinada parte (hojas, tallos, raíces, frutos, semillas, etc.) es lo que llamamos '**partición de la materia seca**'. En la figura 4 podemos ver como varía la partición de la materia seca a los frutos a lo largo del ciclo de un cultivo de tomate. Vemos que después del cuajado del primer racimo el porcentaje de partición a los frutos aumenta rápidamente, a medida que aumenta el número de frutos creciendo en la planta. Recuerden que cada tres o cuatro hojas aparece un nuevo racimo y en cada racimo pueden cuajar entre 3 y 6 frutos, por lo que una planta normal de tomate antes de empezar la cosecha de los primeros frutos puede llegar a tener entre 25-35 frutos creciendo, en distintas etapas de su desarrollo. En la misma gráfica observamos que aproximadamente 100 días después del trasplante la partición a los frutos se estabiliza entre 0.6 y 0.7. ¿Por qué se llega a este punto de equilibrio, el cual puede tener oscilaciones pero alrededor de estos valores?

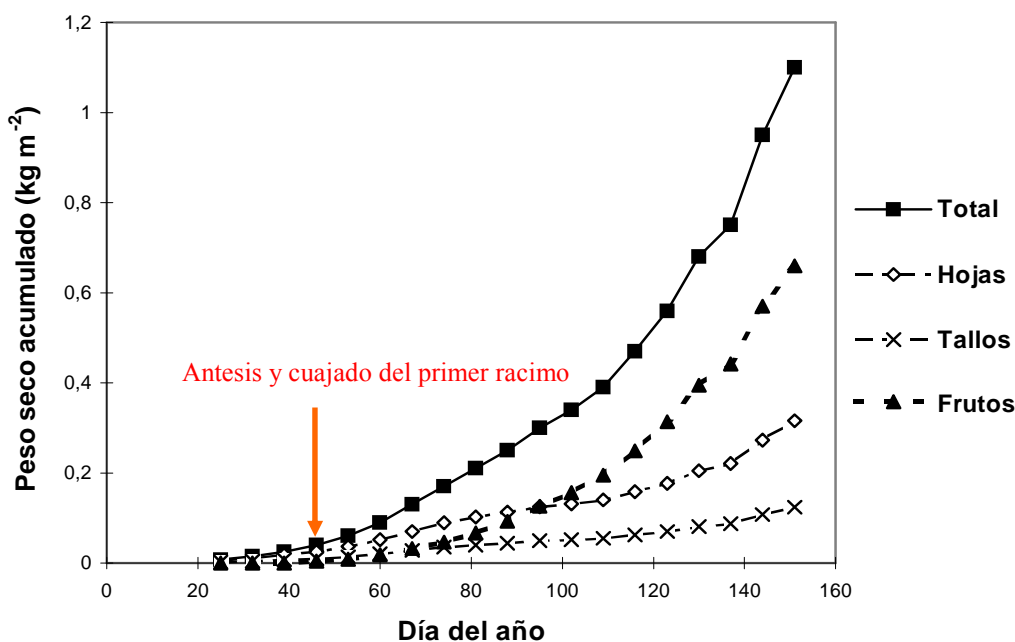


Figura 3. Crecimiento de un cultivo de tomate de tipo indeterminado, expresado como acumulación de materia seca (kg m^{-2}) total, en hojas, en tallos y en frutos en un ciclo de cultivo de 110 días desde el trasplante (Fuente: Heuvelink, 1996).

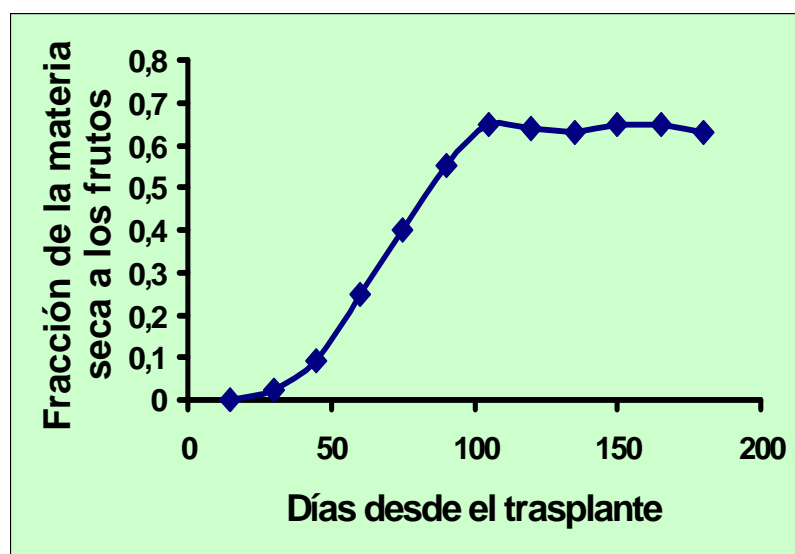


Figura 4. Evolución de la partición de materia seca a los frutos expresada como fracción de la materia seca total acumulada en un cultivo de tomate de tipo indeterminado (Fuente: Heuvelink, 1996)

El punto de equilibrio en la partición a los frutos se alcanza cuando se inicia la cosecha de los frutos del primer racimo. A partir de este momento, la cantidad de frutos que hay en la planta creciendo en forma simultánea se mantiene aproximadamente constante debido a que los frutos maduros que se cosechan son reemplazados por nuevos frutos que cuajan en los racimos cercanos al ápice de la planta. Podemos inferir entonces que la partición de

asimilados a los frutos está estrechamente relacionada al número de frutos o 'carga' de frutos en la planta. Esto lo vamos a estudiar en más detalle en la sección 2.4.

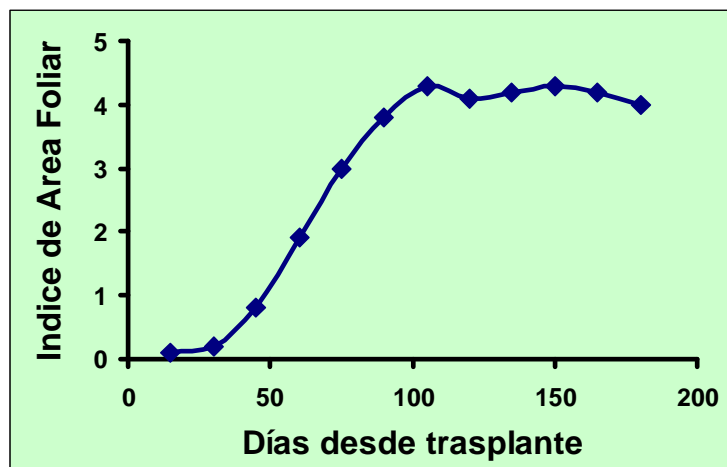


Figura 5. Evolución del índice del área foliar (IAF) de un cultivo de tomate indeterminado (Fuente: Heuvelink, 1996).

En la Figura 5 podemos ver la evolución del índice de área foliar para el mismo cultivo. El valor máximo que alcanza el índice de área foliar (IAF) está determinado por la densidad de plantación (pl m^{-2}) y el área foliar por planta ($\text{m}^2 \text{pl}^{-1}$). Pero, ¿por qué llegamos al IAF máximo aproximadamente en el mismo momento en que se inicia la cosecha de los primeros frutos (ver Fig 4) y por qué a partir de ese momento el IAF se mantiene, oscilando alrededor de un valor de equilibrio? Los cultivos de tomate de tipo indeterminado se podan, es decir se eliminan todos los brotes axilares cuando estos son muy pequeños. De esta forma la planta mantiene su crecimiento por un solo tallo en el que aparecen en forma regular un racimo cada 3-4 hojas (simpodio). Cuando los primeros frutos empiezan a madurar, las hojas que están por debajo de este racimo se acercan a su senescencia y por lo tanto aportan muy pocos fotoasimilados. Es una práctica corriente y recomendable de manejo eliminar estas hojas viejas para mejorar la ventilación y reducir la incidencia de algunas enfermedades. Por lo tanto, una vez iniciada la cosecha, el IAF oscila alrededor de un valor de equilibrio porque las hojas viejas que son eliminadas son reemplazadas por nuevas hojas que aparecen en el ápice de la planta, y el área foliar que se elimina es repuesto por hojas jóvenes que están en plena expansión.

2.3 Formación del rendimiento

Para analizar la formación del rendimiento en el cultivo de tomate vamos a apoyarnos en el modelo cualitativo de crecimiento de la Figura 6. La fijación total de CO_2 del aire en un día determinado (**Asimilación Bruta**, $\text{kg CO}_2 \text{ ha}^{-1}$) depende de la tasa fotosintética (**TAB**, $\text{kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$), la cual a su vez depende de la cantidad de radiación interceptada por el cultivo y de la eficiencia con que se usa esa radiación en el proceso de fotosíntesis. La cantidad de radiación interceptada depende del IAF y la arquitectura foliar del cultivo, y por supuesto de la cantidad de radiación incidente. La eficiencia con que se usa esa radiación depende de la temperatura, disponibilidad de agua y CO_2 , estado nutricional del cultivo y edad promedio del follaje. El CO_2 fijado es transformado en azúcares simples (ej. glucosa) y estas son utilizadas por las plantas, en parte, para el mantenimiento de las funciones metabólicas y de las estructuras celulares (re síntesis de componentes constitutivos como encimas, mantenimiento de gradientes de concentración, etc.). Este gasto de energía o pérdida de CO_2 se llama **Respiración de mantenimiento**. La cantidad de azúcares simples

remanente luego de deducido el gasto en respiración de mantenimiento la llamamos **Asimilación Neta** ($\text{kg CH}_2\text{O ha}^{-1}$) y es lo que el cultivo puede usar para la producción de nuevas estructuras vegetales o para el almacenamiento de reservas, o sea para el crecimiento.

De acuerdo a lo anterior podemos decir que:

$$\text{TAN} = ((30/44) \cdot \text{TAB}) - \text{RM} \quad (\text{Ecuación 1})$$

donde:

TAN = tasa de asimilación neta en $\text{kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$

TAB = tasa de asimilación bruta en $\text{kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$

RM = respiración de mantenimiento en $\text{kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$

30/44 representa la pérdida de oxígeno que se da en la fotosíntesis al reducir el CO_2 en azúcares simples, peso molecular del $\text{CO}_2 = 44$, peso molecular de $\text{CH}_2\text{O} = 30$.

A la cantidad de asimilados disponibles por día para el crecimiento del cultivo (TAN) la vamos a llamar también **Fuente**. Ahora, ¿Cómo se distribuyen los asimilados disponibles para el crecimiento o **Fuente** entre los distintos órganos vegetales que demandan asimilados para su crecimiento o **Fosas**? La forma en que la fuente se distribuye entre las fosas (**partición**) varía fuertemente a lo largo del ciclo fenológico de un cultivo, o sea que la partición depende del estado de desarrollo del cultivo (Fig. 6). Los azúcares simples son transformados a nivel de las fosas en componentes estructurales y reservas con un nivel de eficiencia representado en la Figura 6 por el **Factor de Conversión** (FC, $\text{gMS gCH}_2\text{O}^{-1}$) que cuantifica cuantas unidades de materia seca del órgano en cuestión pueden producirse con una unidad de glucosa. Las diferencias en FC entre órganos vegetales y entre cultivos

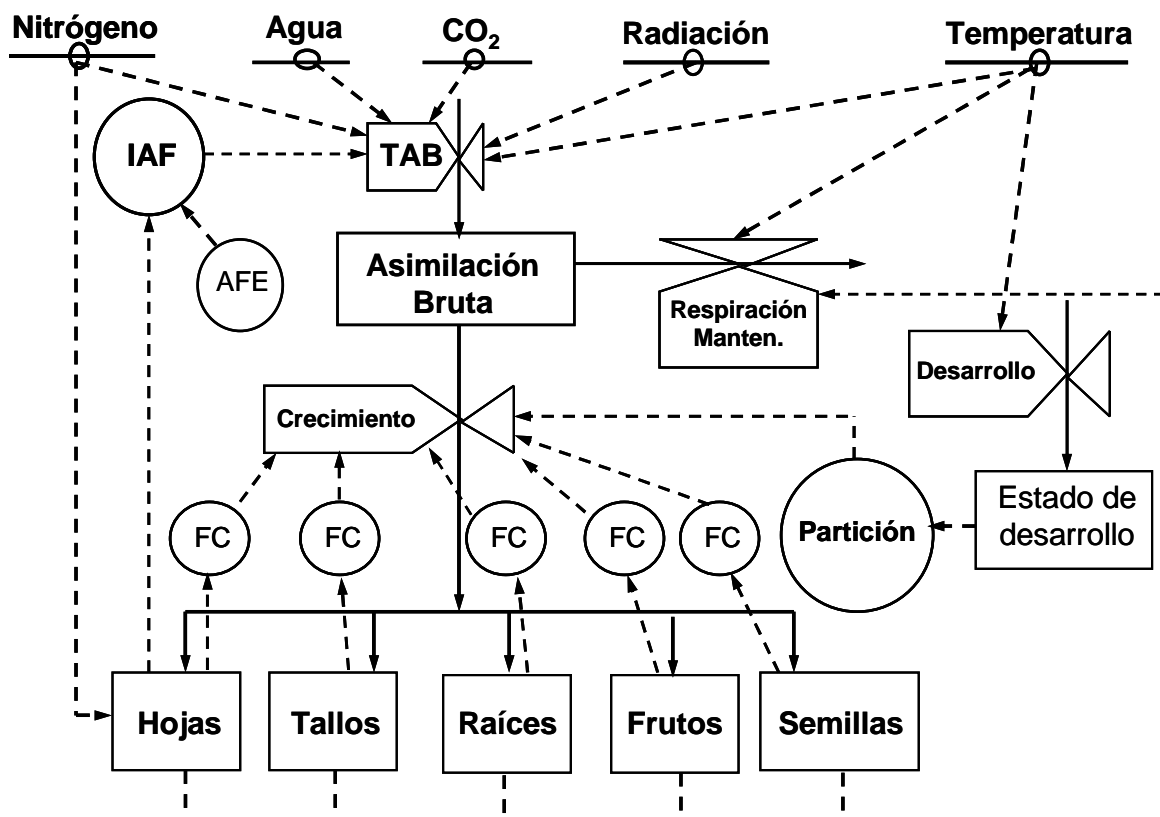


Figura 6. Modelo Cualitativo de la formación del rendimiento de un cultivo anual (Adaptado de Lovenstein et al., 1993)

dependen de su composición química (contenido de proteína, lípidos, carbohidratos, etc.). Entonces se cumple que:

$$\mathbf{TC = TAN * FC}$$

(Ecuación 2)

dónde:

TC = tasa de crecimiento del cultivo en $\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$

TAN = tasa de asimilación neta en $\text{kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$

FC = factor de conversión para todo el cultivo calculado según el estado de desarrollo del cultivo el día en cuestión, teniendo en cuenta los FC de cada fosa y los porcentajes de partición a cada fosa.

Siguiendo la forma de analizar la formación del rendimiento que nos propone la Figura 6, como productores tenemos dos mecanismos para incrementar el rendimiento del cultivo de tomate: por un lado, podemos tomar medidas de manejo para incrementar la TAB, disminuir la RM y por lo tanto aumentar la TAN, o sea la cantidad de asimilados disponibles para el crecimiento de todo el cultivo. Por otro lado, podemos tomar medidas para maximizar la partición de esos asimilados hacia los frutos y así incrementar el índice de cosecha. Pero, ¿son estos dos mecanismos independientes? La figura 6 nos muestra que no, hay una retroalimentación positiva entre la partición de asimilados a las hojas y la TAB a través del IAF. Por lo tanto, si a través del manejo incrementamos la partición de asimilados a los frutos en tal medida que los asimilados que se dirigen al crecimiento de las hojas no son suficientes para reponer el área foliar que va senesciendo (ver sección 2.2), entonces vamos a disminuir la TAB futura, pudiendo llegar en casos extremos a provocar la finalización anticipada del ciclo del cultivo. Debemos recordar que, salvo por la ocurrencia de temperaturas muy bajas o muy altas para el cultivo, el tomate de tipo indeterminado está genéticamente preparado para continuar su crecimiento en forma indefinida, en la medida que pueda ir reponiendo su área foliar. En condiciones de producción, el largo del ciclo está determinado por la época de siembra, sistema de manejo y objetivo de producción. El rendimiento final del cultivo está fuertemente relacionado al largo del ciclo del cultivo, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\mathbf{R = TC * LC * IC}$$

(Ecuación 3)

dónde:

R = rendimiento en kg ha^{-1}

TC = tasa de crecimiento del cultivo en $\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$

LC = largo del ciclo del cultivo en días

IC = índice de cosecha

Como se puede deducir de lo anterior, el manejo de la partición de asimilados entre crecimiento vegetativo y crecimiento de los frutos es un punto clave para alcanzar el largo de ciclo que nos planteamos como objetivo cuando planificamos el cultivo y para llegar a altos rendimientos. En las siguientes secciones vamos a profundizar en los factores de la planta y del ambiente que determinan la partición de asimilados y como podemos influir en este proceso a través del manejo.

2.4 Partición de asimilados

La partición de la materia seca en un cultivo es el resultado final del flujo de los asimilados desde las fuentes hacia las fosas a través de las vías de transporte (floema). La partición de materia seca entre las distintas fosas está determinada por las propias fosas y su habilidad competitiva. La capacidad de la vía de transporte de los asimilados tiene una incidencia menor en la partición de asimilados a nivel de toda la planta (Marcelis, 1996).

La 'habilidad competitiva' de un órgano o fosa para atraer asimilados la llamamos **Fuerza de Fosa**. En otras palabras, la Fuerza de Fosa es la capacidad potencial de un órgano de acumular o consumir asimilados en un determinado período de tiempo. ($\text{g CH}_2\text{O pl}^{-1} \text{ día}^{-1}$).

La Fuerza de Fosa de un órgano se puede cuantificar a través de la tasa de crecimiento de ese órgano cuando la disponibilidad de asimilados (Fuente) no es limitante, o sea a través de la tasa de crecimiento potencial. Experimentalmente estas condiciones pueden ser creadas poniendo a las plantas a crecer en condiciones óptimas y reduciendo artificialmente el número de fosas (por ej. frutos) en la planta (Marcelis, 1994; De Koning, 1994; Heuvelink, 1996).

Elaborando más el concepto de Fuerza de Fosa, podemos decir que la tasa de crecimiento potencial de una planta en un momento dado de su ciclo de desarrollo es igual a la sumatoria de las fuerzas de fosa de cada una de las partes u órganos de la planta. La cantidad de asimilados que recibe cada una de estas partes de la planta en un momento dado va a ser **proporcional** al cociente entre la fuerza de fosa de cada uno y la fuerza de fosa total de la planta. Por ejemplo, considerando una planta de tomate, si agrupamos por un lado las fosas vegetativas (hojas, tallos y raíces en crecimiento) y por otro los frutos (o fosas reproductivas) podemos decir que:

$$\mathbf{FPF = FFfrutos / (FFfrutos + FF vegetativa)} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

$$\mathbf{FFfrutos = n^{\circ} frutos * FFf promedio} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

donde:

FPF = fracción o proporción de los asimilados disponibles consumidos por los frutos

FFfrutos = fuerza de fosa de todos los frutos creciendo en la planta en un momento dado ($\text{g CH}_2\text{O planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$)

FF vegetativa = fuerza de fosa de todas las fosas vegetativas ($\text{g CH}_2\text{O planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$)

n° frutos = cantidad de frutos creciendo en la planta en un momento dado

FFf promedio = fuerza de fosa promedio de un fruto ($\text{g CH}_2\text{O fruto}^{-1} \text{ día}^{-1}$)

La cantidad de asimilados que efectivamente reciban los frutos dependerá del tamaño de la Fuente (TAN). Si la TAN es menor o igual a la Fuerza de Fosa total de la planta (crecimiento limitado por la Fuente), entonces:

$$\mathbf{PF = TAN * FPF} \quad \text{(Ecuación 6)}$$

donde

PF = cantidad de asimilados consumidos por los frutos en un momento dado ($\text{g CH}_2\text{O planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$)

TAN = tasa de asimilación neta ($\text{g CH}_2\text{O planta}^{-1} \text{ día}^{-1}$)

FPF = fracción o proporción de los asimilados disponibles consumidos por los frutos

Si la TAN es mayor que la Fuerza de Fosa total de la planta, entonces el crecimiento de la planta está limitado por la Fosa y todos los órganos de la planta van a crecer a su tasa potencial. O sea que en estas condiciones, **PF = FFfrutos**.

La tasa de crecimiento potencial o la Fuerza de Fosa de un órgano no es algo estático, sino que cambia a lo largo del ciclo de desarrollo del órgano y también es afectada por la temperatura, pero no por la Fuente. En la figura 7(b) vemos que la tasa de crecimiento potencial del fruto varía a lo largo de su ciclo de desarrollo, alcanza su máximo entre 20 y 40 días desde la antesis y luego desciende gradualmente hasta la maduración del fruto. La temperatura, en los rangos estudiados en la Figura 7, acelera la tasa de desarrollo del fruto y por lo tanto a mayor temperatura se alcanza antes la tasa de crecimiento máxima y la maduración del fruto. Por lo tanto la temperatura es el factor del ambiente que determina el largo del período de crecimiento del fruto (Tabla 2). En la medida que se acorta el período de crecimiento del fruto, disminuye su tamaño potencial (Fig 7a), simplemente porque dispone de menos tiempo para crecer.

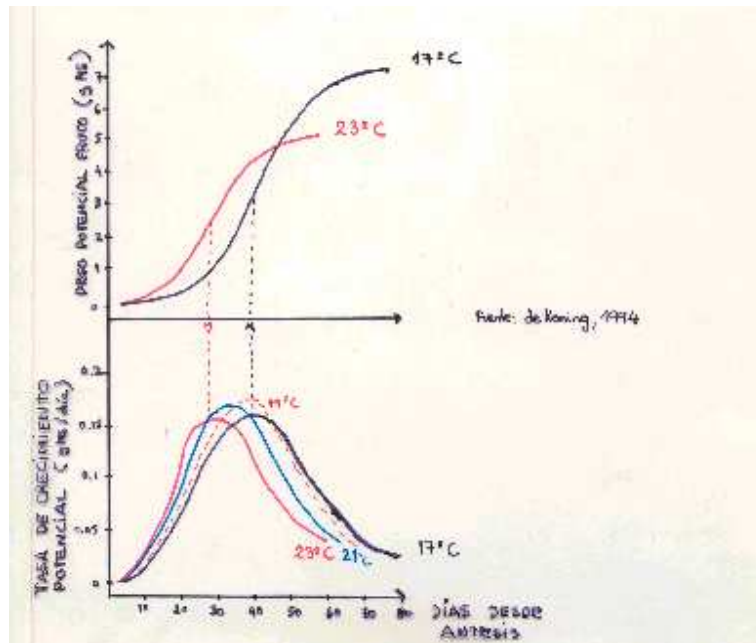


Figura 7. Evolución del peso potencial del fruto de tomate a 17 y 23°C (A) y evolución de la tasa de crecimiento potencial del fruto de tomate a 17, 19, 21 y 23°C (B) en función del número de días desde la antesis (Adaptado de De Koning, 1994).

El efecto de la temperatura en la Fuerza de Fosa de un fruto que se demuestra en la Figura 7 y Tabla 2, se ejerce a través de la tasa de desarrollo y puede representarse a través de la acumulación de grados día a lo largo de todo el ciclo de desarrollo del fruto, desde cuajado a maduración. Este efecto, podemos decir que es de largo plazo. La temperatura también afecta la Fuerza de Fosa de un órgano de forma instantánea, es decir, las oscilaciones de temperatura que pueden darse en períodos cortos de tiempo (pocos días) también afectan la fuerza de fosa de los órganos vegetales a través de modificar la velocidad de las reacciones metabólicas. Las reacciones bioquímicas se aceleran al aumentar la temperatura. Sobre este tipo de efecto de la temperatura vamos a profundizar en la Sección 2.7, presentando alguna evidencia experimental.

Tabla 2. Duración del período de crecimiento de fruto de dos cultivares de tomate creciendo a cuatro temperaturas medias (De Koning, 1994).

Temperatura (° C)	Período de crecimiento de fruto	
	Calypso	Dombito
17	71.9	73.8
19	62.0	61.8
21	56.2	55.1
23	48.6	47.9
Media	59.7	59.7

De acuerdo a la Ecuación 5, la fuerza de fosa de los frutos en una planta (y por lo tanto la partición a los frutos) depende del número de frutos que están creciendo simultáneamente en la planta. Por lo tanto, estudiar y entender los factores que determinan el número de frutos por planta es fundamental para poder manejar la partición de asimilados en el cultivo de tomate.

2.5 Cuajado de frutos

En la sección 2.2 vimos que las plantas de tomate indeterminado forman un nuevo racimo cada 3-4 hojas (crecimiento simpodial). La tasa de aparición de hojas y de racimos está controlada por la temperatura. De acuerdo a la Figura 8, en tomate a 20°C de T media aparece una nueva hoja cada 2,6 días y, por lo tanto, un nuevo racimo cada 8-9 días aproximadamente. Un racimo puede tener muchas flores, en general más de siete flores. Pero, ¿todas cuajan para formar un fruto?

En general no. El porcentaje de cuajado ($(n^{\circ} \text{ de flores que cuajan} / n^{\circ} \text{ de flores totales}) * 100$) es afectado por factores internos de la planta y por el ambiente. Condiciones de temperatura menores a 12°C o superiores a 35°C y condiciones de HR% menores a 70% o mayores a 90% en los días cercanos a la antesis disminuyen el porcentaje de cuajado porque dificultan la polinización y bajan la viabilidad del polen. Pero, el factor más importante que determina el porcentaje de cuajado es la disponibilidad de asimilados en la planta, que la podemos representar a través de la relación Fuente/Fosa. En la Figura 9 se muestra la influencia de la disponibilidad de asimilados (azúcares reductores) en el porcentaje de cuajado. La disponibilidad de asimilados en la planta se varió a través de la densidad de plantación.

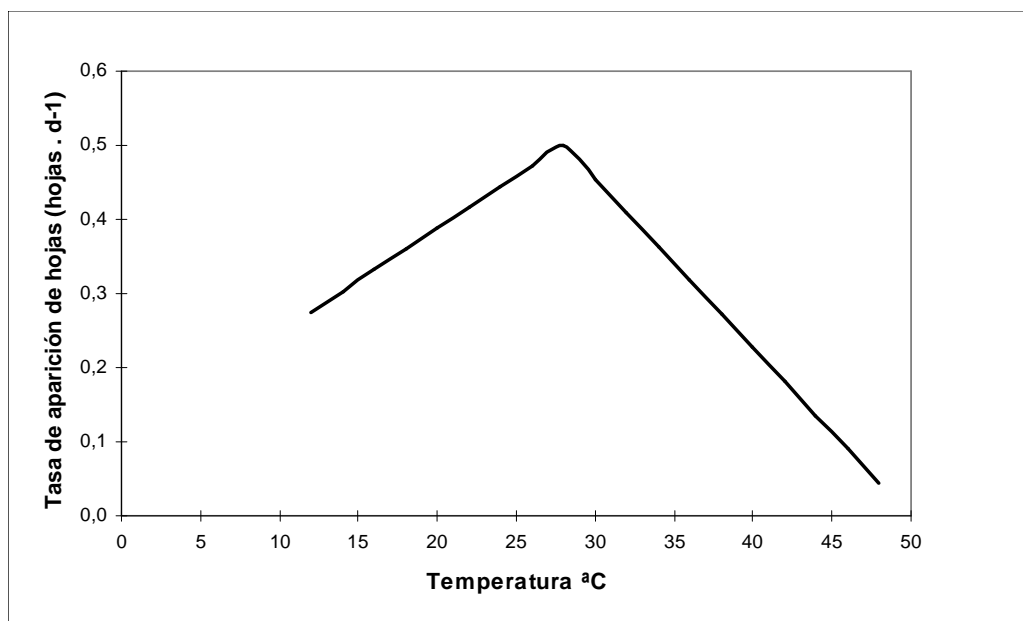


Figura 8. Tasa de aparición de hojas (TAH) en tomate en función de la temperatura media diaria (De Koning, 1995).

$$\text{TAH (hojas.d}^{-1}\text{)} = 0.5 \text{ (hojas.d}^{-1}\text{)} * (1 + 0.0281 (T - 28^{\circ}\text{C})) \quad 12^{\circ}\text{C} < T < 28^{\circ}\text{C}$$

$$\text{TAH (hojas.d}^{-1}\text{)} = 0.5 \text{ (hojas.d}^{-1}\text{)} * (1 - 0.0455 (T - 28^{\circ}\text{C})) \quad 28^{\circ}\text{C} < T < 50^{\circ}\text{C}$$

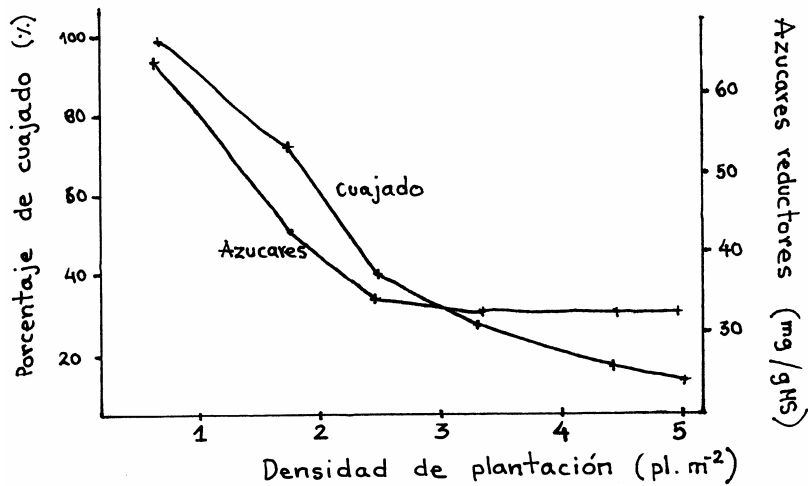


Figura 9. Efecto de la concentración de azúcares reductores (afectado por la densidad de plantación) en el porcentaje de cuajado en tomate.

La disponibilidad de asimilados en la planta no depende solo de la Fuente o TAN sino también de la demanda de asimilados (Fuerza de Fosa) por parte de los distintos órganos de la planta. Al aumentar la densidad de plantación, en condiciones de competencia entre plantas, bajamos la disponibilidad de asimilados por planta a través de la TAN por planta. Pero también podemos variar la disponibilidad de asimilados por planta variando la carga de frutos, por ejemplo haciendo raleo de frutos (bajando la Fosa). Este mecanismo por el cual el porcentaje de cuajado es afectado por la disponibilidad de asimilados es la forma que dispone la planta para regular la competencia entre crecimiento vegetativo y crecimiento de los frutos y asegurar su sobrevivencia en el largo plazo.

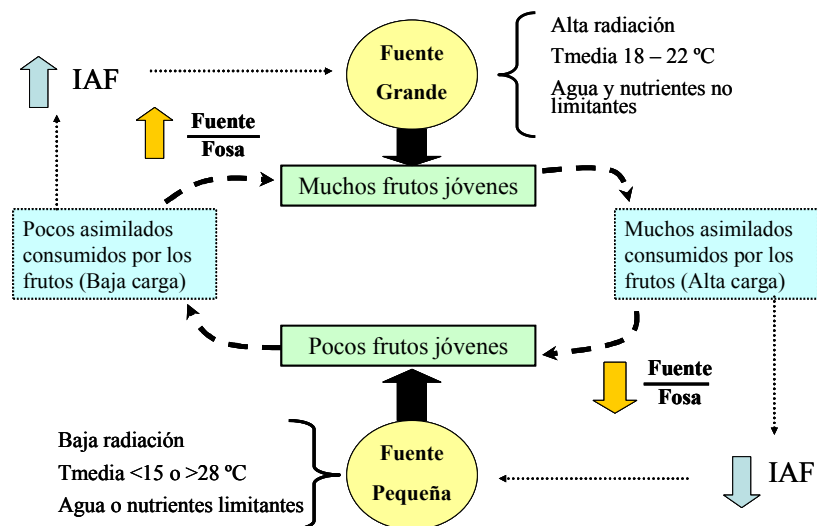


Figura 10. Control de la carga de frutos en tomate a través de la relación Fuente/Fosa.

Del punto de vista productivo, estas oscilaciones en la carga de frutos en la planta son indeseables porque provocan variaciones importantes semana a semana en la cantidad de frutos para cosechar. Esto tiene dos desventajas importantes: irregularidad en el abastecimiento al mercado y problemas graves para la planificación del uso de la mano de obra (la cosecha y preparación para la venta es la actividad que más horas de trabajo insinse en el cultivo de tomate). Por lo tanto debemos intervenir en estos ciclos naturales del

cultivo para contrarrestarlos a través del manejo de la relación Fuente/Fosa. En las próximas secciones vamos a ver algunos ejemplos de como podemos influir en esta relación.

Un período de tiempo prolongado (varias semanas) en el cual la planta mantenga una alta carga de frutos, además de provocar un período de bajo porcentaje de cuajado, también provoca una disminución del área foliar por planta al bajar la partición de asimilados al crecimiento del follaje. Esta caída en el IAF del cultivo es mucho más lenta y costosa de recuperar que simplemente un par de racimos con poco cuajado. En muchos casos puede ser determinante de la decisión de arrancar el cultivo e iniciar uno nuevo porque en estructuras costosas como un invernáculo no es conveniente mantener un cultivo de baja productividad.

2.6 Diferenciación del primer racimo floral

La planta de tomate no es sensible al fotoperíodo ni requiere de vernalización para florecer, sino que la diferenciación del primer racimo la determina la disponibilidad de asimilados en la planta, la cual podemos representar a través de la relación Fuente/Fosa (Heuvelink, 1989). Por lo tanto, condiciones que aumenten la Fuente o disminuyan la fuerza de fosa adelantan la diferenciación del primer racimo. Calvert (1959) estudió la interacción entre la radiación incidente y la temperatura (Fig. 11) y encontró que tanto a 15 como a 25°C a mayor radiación incidente antes se da la diferenciación del primer racimo. El efecto de la temperatura, en cambio, es distinto según la cantidad de radiación incidente. En condiciones de alta radiación (1000 luxes pie²) la diferenciación del primer racimo se da antes (11 días) pero con más hojas diferenciadas (11 hojas) a 25°C que a 15°C (15 días y 9 hojas). En cambio en condiciones de muy baja radiación incidente (250 luxes pie²) a 25°C las plantas aún no diferenciaron su primer racimo a 40 días de la emergencia y 17 hojas diferenciadas, mientras que a 15°C diferenciaron el primer racimo a los 33 días y con 11 hojas diferenciadas.

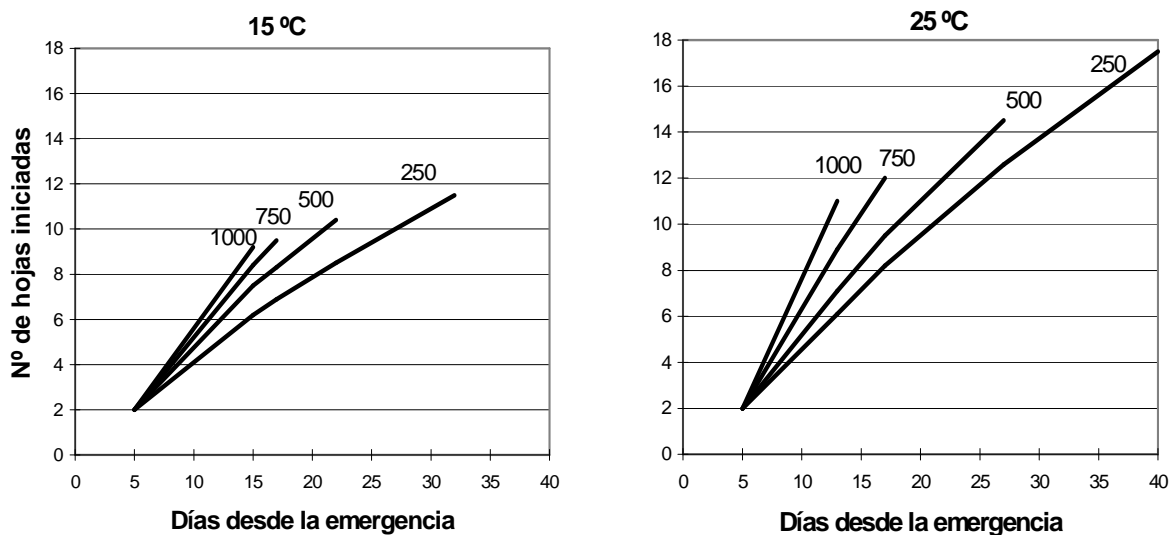


Figura 11- Efecto de la intensidad de luz (1000, 750, 500 y 250 luxes/pie²) y la temperatura media (15 y 25 °C) en el tiempo desde emergencia a inicio del primer racimo y en el número de hojas iniciadas antes del primer racimo en plantas de tomate. (Fuente: Calvert, 1959)

El efecto de la temperatura en condiciones de baja radiación se explica por el efecto que tiene sobre la fuerza de fosa de la planta. La tasa potencial de crecimiento de la planta a 25°C es mucho mayor que a 15°C pero la Fuente en condiciones en que la fotosíntesis está

limitada por la falta de radiación no cambia significativamente, por lo tanto la relación Fuente/Fosa en condiciones de baja radiación incidente es mucho menor a 25°C que a 15°C y esto retrasa la diferenciación del primer racimo. Para un productor de tomate este problema puede ser particularmente grave por la pérdida de precocidad y porque baja el número de racimos que se pueden obtener antes que la planta llegue al alambre o tope de la estructura de conducción.

2.7 Efecto de variaciones en la temperatura en la partición de asimilados

El efecto de la temperatura en el corto plazo en la partición de asimilados en la planta de tomate lo vamos a ejemplificar con el experimento realizado por De Koning (1989) cuyos resultados se muestran en la Tabla 3. En este experimento, un grupo de plantas que crecieron desde el trasplanta a una temperatura promedio de 19°C se dividieron en dos grupos cuando llegaron a la antesis del sexto racimo. Un grupo continuó creciendo a la misma temperatura promedio y el otro grupo paso a un régimen térmico de 23°C promedio. El experimento duró 2 semanas. Al inicio y al final del experimento muestras de plantas de ambos grupos se evaluaron en forma destructiva para medir los cambios en materia seca acumulada total, en tallos y hojas (vegetativa) y en frutos.

La diferencia observada en crecimiento total de las plantas es muy pequeña (5%), lo que indica que no hubo una incidencia importante de la temperatura en la TAN. Esto es coherente con nuestros conocimientos sobre la evolución de la TAB y la RM en plantas C3 (Fig. 12). La TAN en plantas C3 es máxima entre 18 y 23 °C. Sin embargo si hubo un efecto importante en como se distribuyeron los asimilados en la planta. La partición a los frutos fue 13% mayor a 23°C que a 19°C. Al incrementar la temperatura aumenta la fuerza de fosa de toda la planta, tanto de las partes vegetativas como de los frutos (sección 2.4), pero en este experimento el efecto de la temperatura fue mayor en la fuerza de fosa de los frutos que en la fuerza de fosa vegetativa. Por lo tanto una proporción mayor de los asimilados disponibles fue dirigida a los frutos a 23°C. El mayor impacto en la FFfrutos se explica por el estado de desarrollo de las plantas al inicio del experimento. Eran plantas con seis racimos, podemos suponer entonces que tenían entre 25 y 30 frutos cuajados creciendo en la planta, contra una cantidad muy inferior de fosas vegetativas. Probablemente el efecto del tratamiento a 23°C no sería el mismo si evaluamos a plantas que tengan solo el primer racimo cuajado.

Tabla 3. Incremento de la materia seca de plantas de tomate cultivadas a 19 °C y expuestas durante 2 semanas a temperaturas de 19 y 23 °C (De Koning, 1989)

Parámetros	19 °C	23 °C
Crecimiento de frutos (g pl ⁻¹)	36.0	41.0
Crecimiento vegetativo (g pl ⁻¹)	17.5	10.0
Crecimiento total (g pl ⁻¹)	53.5	51.0
Partición de MS a los frutos (%)	67.3	80.4

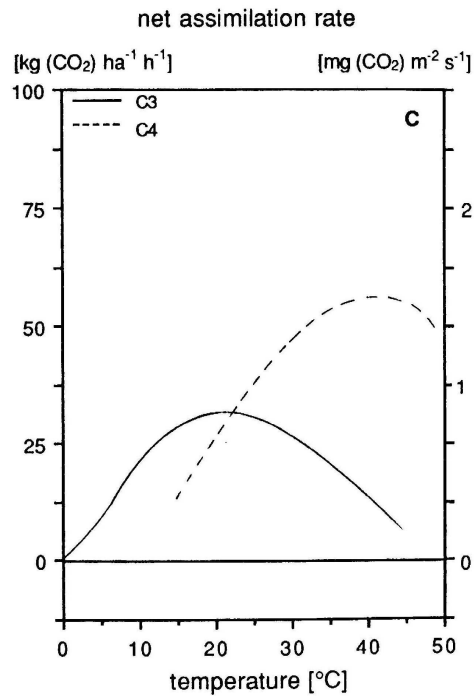


Figura 12. Efecto de la temperatura en la tasa de asimilación neta (TAN) de cultivos C3 (línea entera) y C4 (línea cortada). (Fuente: Lovenstein et al., 1993).

¿Qué sucede con la relación Fuente/Fosa en este experimento? La relación Fuente/Fosa a 23°C es significativamente inferior que a 19°C en la medida que no hay diferencias importantes en la TAN y si un aumento importante de la fuerza de fosa de toda la planta. Esto tiene consecuencias negativas para el porcentaje de cuajado de frutos del racimo que en este período está cercano a la antesis.

2.8 Efecto de la densidad de plantación sobre la partición de asimilados

Cuando aumentamos la densidad de plantación en un cultivo dentro del rango que va del inicio de la competencia entre plantas hasta saturación (fase 2 Figura 14 Capítulo 4), aumenta la producción total de materia seca por el cultivo pero disminuye la producción por planta. En otras palabras, aumenta la TAN del cultivo pero baja la TAN por planta. O sea que el efecto de la densidad en el crecimiento de las plantas se expresa principalmente a través de la fuente. Si esto es cierto, ¿cómo explicamos los resultados obtenidos en un cultivo de morrón (de comportamiento comparable al tomate) por Dogliotti (1997) mostrados en la Figura 13? Esta figura muestra que hay un efecto significativo de la densidad en la partición de asimilados. Sin embargo nosotros establecimos en la Sección 2.4 que la partición está determinada por las fuerzas de fosa de los distintos órganos de la planta y no por la Fuente. Para poder entender este comportamiento debemos estudiar la Figura 14, en la cual los mismos datos experimentales de partición a los frutos se presentan en función del número de frutos en la planta. Aquí vemos que, en realidad, el efecto de la densidad de plantación en la partición de asimilados se da a través del número de frutos que cuajan por planta. Al aumentar la densidad disminuye el número de frutos por planta porque baja la relación Fuente/Fosa (ver Fig. 9). Entonces el efecto de la Fuente en la partición de asimilados es indirecto a través de su efecto en el cuajado de frutos.

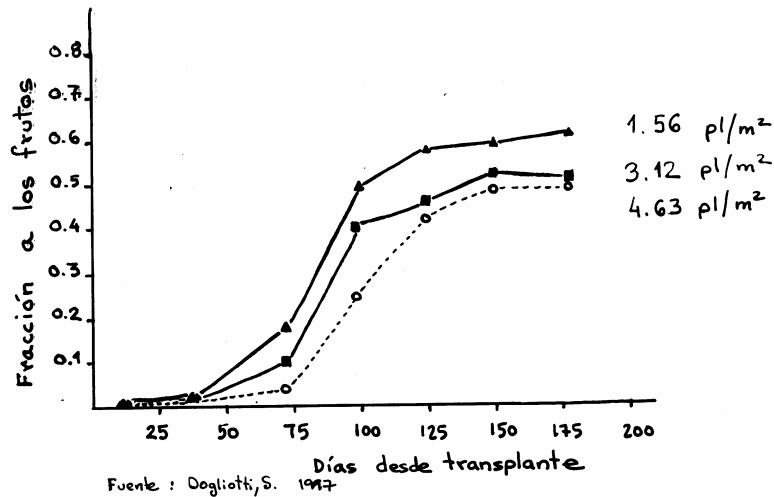


Figura 13. Efecto de la densidad de plantación en la partición de asimilados a los frutos en función de los días desde trasplante en el cultivo de morrón. (Fuente: Dogliotti, 1997)

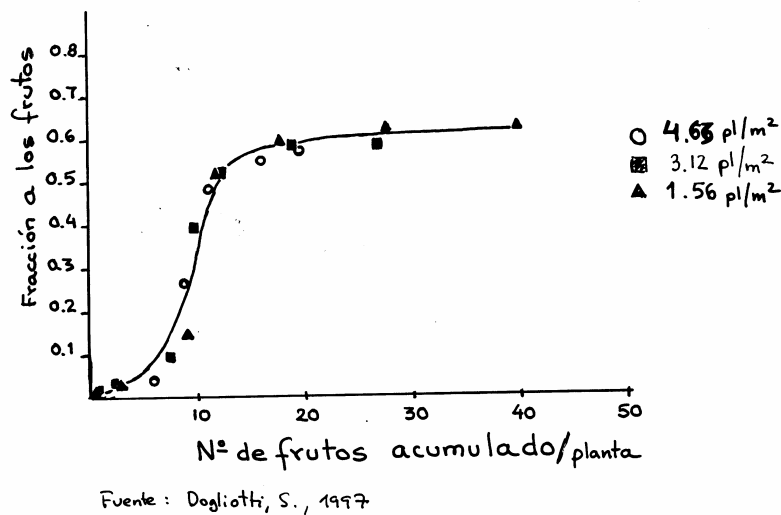


Figura 14. Efecto de la densidad de plantación en la partición de asimilados a los frutos en función del número de frutos acumulados por planta en el cultivo de morrón. (Fuente: Dogliotti, 1997)

2.9 Efecto del raleo de frutos en la partición de asimilados

El raleo de frutos es una práctica de manejo a través de la cual se limita el número de frutos cuajados por racimo. Una vez que el racimo llega al número de frutos que nos fijamos como objetivo, las flores y frutos restantes en el racimo se eliminan. Como podemos ver en la Tabla 4, el raleo de frutos tiene un impacto significativo en el tamaño final de los frutos cosechados. A menor cantidad de frutos por racimo, mayor es el tamaño de los frutos que se cosechan. El tamaño de fruto es un componente importante de su calidad y por lo tanto influye en el precio de mercado y Uruguay es un mercado que premia con el precio a los tamaños grandes de fruto (>8 cm diámetro). Sin embargo, aumentar el tamaño de fruto mediante raleo tiene un costo, como se muestra en la Tabla 5. El raleo de frutos disminuye la partición a los frutos (índice de cosecha) y por lo tanto el rendimiento final. La Ecuación 4 y 5 muestran cómo la partición de asimilados a los frutos depende de la Fuerza de Fosa (FF) de estos en relación a la FF total de la planta. Al disminuir el número de frutos por raleo, disminuye la FF de los frutos y su proporción dentro de la FF total. Los frutos que

quedan, al disminuir la competencia pueden crecer más cercanos a su tasa potencial y por lo tanto alcanzar un mayor tamaño final

Tabla 4. Efecto del número de frutos por racimo en el tamaño promedio de fruto (gMS fruto⁻¹) en el cultivo de tomate. (Adaptado de Heuvelink, 1996).

Experimento	Nº de frutos por racimo	Peso seco promedio de fruto (g/fruto)
1	1	6.20
	3	5.53
	7	3.34
2	1	6.00
	2	5.45
	3	5.61
	7	3.81
3	1	5.39
	2	4.93
	3	4.18
	7	3.13

Tabla 5. Efecto del número de frutos por racimo en la producción total de materia seca, el rendimiento, la partición a los frutos y el peso promedio de fruto en el cultivo de tomate (Adaptado de Heuvelink, 1996).

Nº de frutos por racimo	Peso Seco Total (g/pl)	Peso Seco Frutos (g/pl)	Fracción a los Frutos (%)	Peso Promedio Fruto (g/fruto)
1	442	84	0.19	6.00
2	475	142	0.30	5.45
3	516	206	0.40	5.61
7	493	271	0.55	3.81

2.10 Efecto del 'despunte' o 'capado' en la partición de asimilados

La práctica de despunte o capado consiste en la eliminación del ápice de la planta y de los brotes laterales que aparezcan a posteriori con el objetivo de determinar el crecimiento de la planta. Esta práctica se hace aproximadamente dos meses antes del fin del ciclo del cultivo para no desperdiciar foto-asimilados en frutos que no van a llegar a ser cosechados porque el cultivo va a terminar antes de que alcancen la madurez de cosecha (por condiciones ambientales, de mercado o de organización de la producción en el establecimiento). Para realizar esta práctica de manejo debemos estimar el tiempo que demora un fruto desde el cuajado hasta la maduración para saber cuál es el último racimo en la planta que podrá ser cosechado, entonces dejamos 2 o 3 hojas por encima de este racimo y eliminamos el resto de la parte apical de la planta.

¿Cómo afecta al cultivo esta práctica de manejo? Al aplicar esta práctica de manejo estamos modificando positivamente la relación Fuente/Fosa en la planta al disminuir el número de fosas creciendo. De esta forma favorecemos el cuajado de este último racimo y mejoramos el tamaño final de fruto en todos los racimos que restan por cosechar.

2.11 Síntesis de la formación del rendimiento

El estudio detallado de las Figuras 15 y 16 en conjunto con la Figura 6 nos permite integrar los conceptos sobre la fisiología de este cultivo que se desarrollaron a lo largo de este capítulo. En la Figura 15 se descompone el rendimiento del cultivo de tomate en sus distintos componentes. Hay componentes que están directamente determinados por decisiones de manejo como la densidad de plantación, el número de frutos por racimo (raleo) o el largo del ciclo del cultivo. Otros están determinados por la temperatura media como la tasa de aparición de racimos, el largo del período de crecimiento del fruto y el largo del ciclo del cultivo. La relación Fuente/Fosa determina el número de frutos que cuajan por racimo. El número de frutos por planta y la temperatura influyen en la partición de asimilados promedio al fruto.

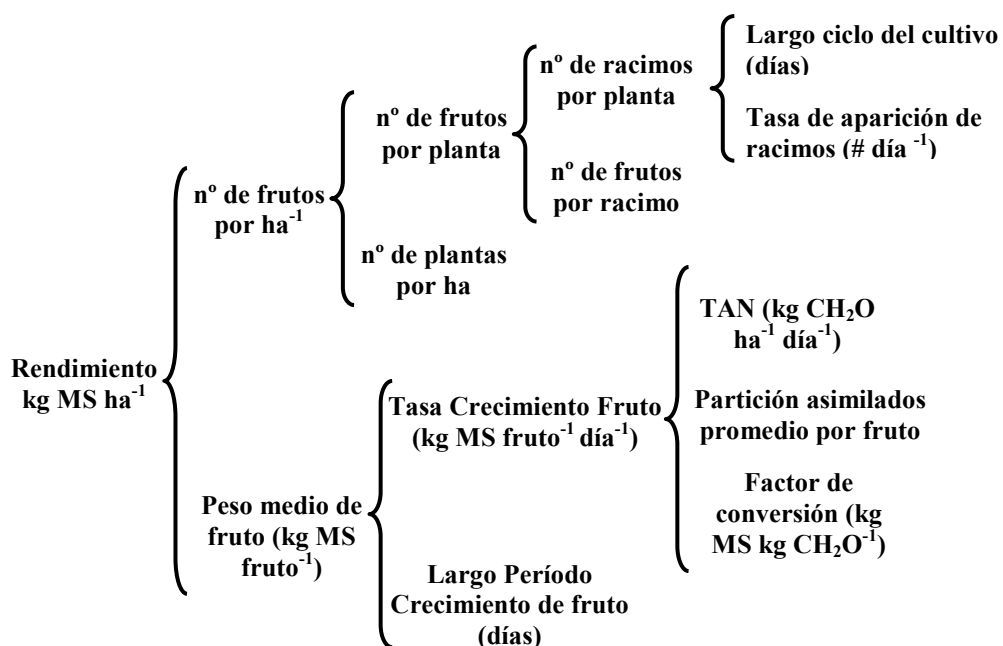


Figura 15. Descomposición del rendimiento por componentes del rendimiento en el cultivo de tomate

Estas interacciones entre factores del ambiente y del manejo en la formación del rendimiento en el cultivo de tomate se representan más claramente en la Figura 16. Aquí se representan todos los factores que en cada momento determinan la producción de asimilados o Fuente (por simplicidad no tenemos en cuenta la incidencia de plagas o enfermedades), y luego los factores que determinan el uso de esos asimilados en la planta. Se incluye la interacción entre el uso y la producción de asimilados a través del IAF, y la importancia de la relación Fuente/fosa en la regulación del número de fosas en la planta, y por lo tanto en la partición con un efecto de largo plazo.

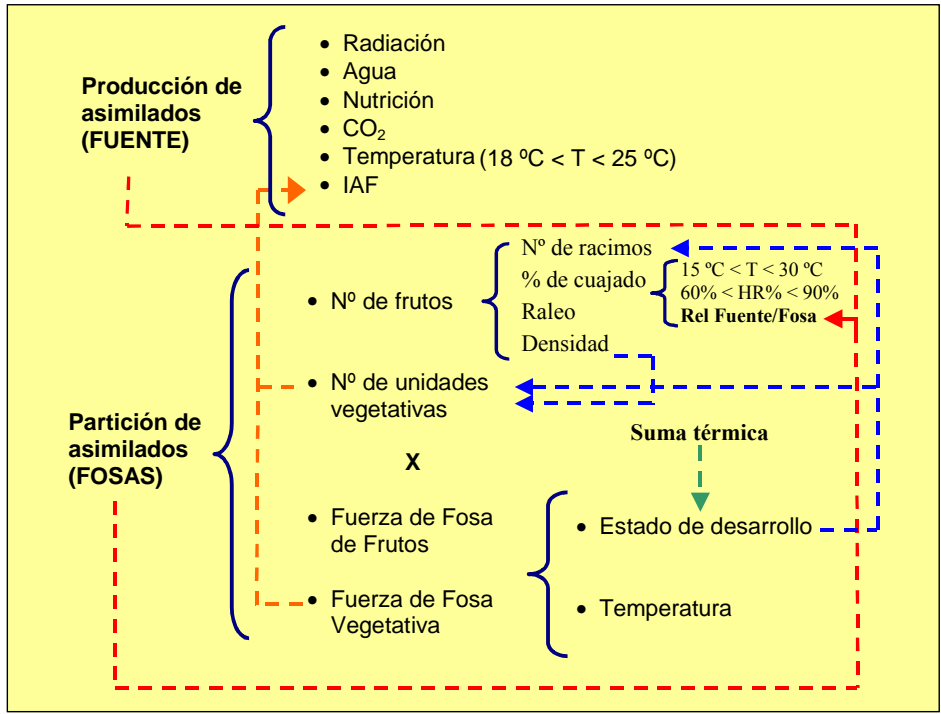


Figura 16.- Factores principales que afectan la formación del rendimiento en el cultivo de tomate

2.12 Bibliografía

Atherton J.G. y Rudich J., 1986. The tomato crop: a scientific basis for improvement. Springer. 661p.

Calvert A., 1959. Effect of the air environment on development of flowering in tomato. II Light and temperature interactions. *Journal of Horticultural Science* 34, 154-162

De Koning ANM., 1989. The effect of temperature on fruit growth and fruit load of tomato. *Acta Horticulturae* 260, 267-273.

De Koning ANM. 1994. Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach. Thesis. Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.

Dogliotti S., 1997 Influence of assimilate availability on fruit set and dry matter partitioning of sweet pepper: Measurements and Simulation. Thesis. Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.

Heuvelink E, 1996. Dry matter partitioning in tomato: validation of a dynamic simulation model. *Annals of Botany* 77: 71-80, 1996

Lovenstein H., Latinga E.A., Rabbinge R., van Keulen H., 1993. Principles of theoretical production ecology. Wageningen, Agricultural University. 118p.

Marcelis, L.F.M. 1996. Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant. *J. Exp. Bot.* 47:1281-1291.

Marcelis LFM. 1994. A simulation model for dry matter partitioning in cucumber. *Annals of Botany* 74: 43-52.

MGAP-DIEA, 2001. Encuestas hortícolas en la zona Litoral Norte del país. DIEA-JUNAGRA-PREDEG. Trabajo Especial n° 26. 50p.

MGAP-DIEA, 2003. Encuestas hortícolas 2008. Zonas Sur y Litoral Norte. Serie Encuestas n° 218. 65p.

3. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L)

3.1. Características generales del cultivo

La papa es un cultivo que ha ganado considerable importancia en las últimas décadas. Originario de las áreas montañosas de los Andes en América del Sur (en los alrededores del lago Titicaca) fue introducida en Europa en el siglo XVI y de allí llevada al resto del mundo. Actualmente, las papas son cultivadas y comidas en más países que cualquier otro cultivo, y en la economía global son el cuarto cultivo en importancia luego de tres cereales: maíz, arroz y trigo.

La papa pertenece a la familia de las solanáceas, al igual que el tomate. Es sensible a heladas y crece bien en climas templados, con temperaturas entre 15° y 27°C. Requiere una estación de crecimiento con un largo mínimo de 3 a 4 meses, en la cual las temperaturas no sean demasiado altas (> 30°C) ni demasiado bajas (<5°C). En las regiones frías se la cultiva durante el verano y en el invierno en las regiones cálidas. Cerca del ecuador, donde no existe estación fresca a nivel del mar, las papas con frecuencia se plantan en áreas de elevada altitud. En algunas zonas hay más de una estación de crecimiento al año, generalmente primavera y otoño, en la cual el cultivo crece y produce bien. El clima de la zona donde se originó la papa se caracteriza por tener inviernos fríos (con temperaturas por debajo de 0°C), y veranos frescos con alta radiación incidente. El órgano consumido es el tubérculo. Este es un órgano subterráneo de almacenamiento de reservas y resistencia. La planta, en las condiciones climáticas del centro de origen, lo forma cuando percibe del ambiente las señales de que se aproxima el invierno o la estación desfavorable para el crecimiento (fotoperíodo decreciente). Los tubérculos sobreviven en dormancia durante el invierno y en la primavera, cuando las condiciones de temperatura son favorables para el crecimiento, brotan originando una nueva planta.

En nuestro país, las condiciones de temperatura y radiación en invierno no permiten el crecimiento de este cultivo, mientras que la temperatura que se alcanza en el mes de enero provoca que la tuberización se interrumpa completamente. Por lo tanto en Uruguay se cultiva papa en dos estaciones de crecimiento: primavera-verano y verano-otoño. Las fechas de inicio y fin de cada estación dependen de las características climáticas de cada una de las zonas de producción en las cuales se cultiva papa en nuestro país (Figura 1).

Los tubérculos de papa pueden permanecer por varios meses, dependiendo de las condiciones de humedad y temperatura, en el suelo o en estructuras de almacenamiento. Por lo tanto, combinando zonas de producción y estaciones de cultivo, el Uruguay es capaz de auto-abastecerse con papa durante todo el año (Figura 1).

3.2. Anatomía de la planta de papa

La papa es una planta perenne, por sus tubérculos, pero que se comporta como anual. La planta de papa puede llegar a producir frutos con semillas viables, pero la forma de propagación utilizada a nivel de la producción comercial es la vegetativa. A partir de tubérculos o trozos de tubérculos se instala un nuevo cultivo. La Figura 2 muestra una planta de papa originada de un tubérculo semilla donde se observan los diferentes órganos que la componen.

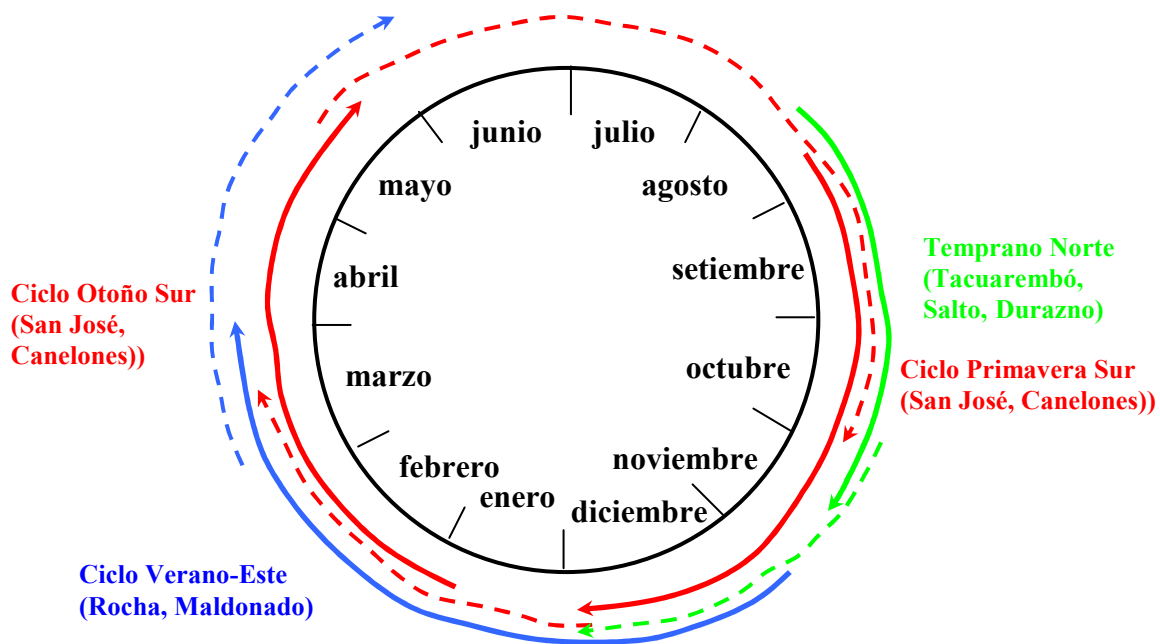


Figura 1. Ciclos de cultivo de papa en distintas zonas del país (líneas enteras) y períodos de abastecimiento del mercado desde cada zona (líneas punteadas).

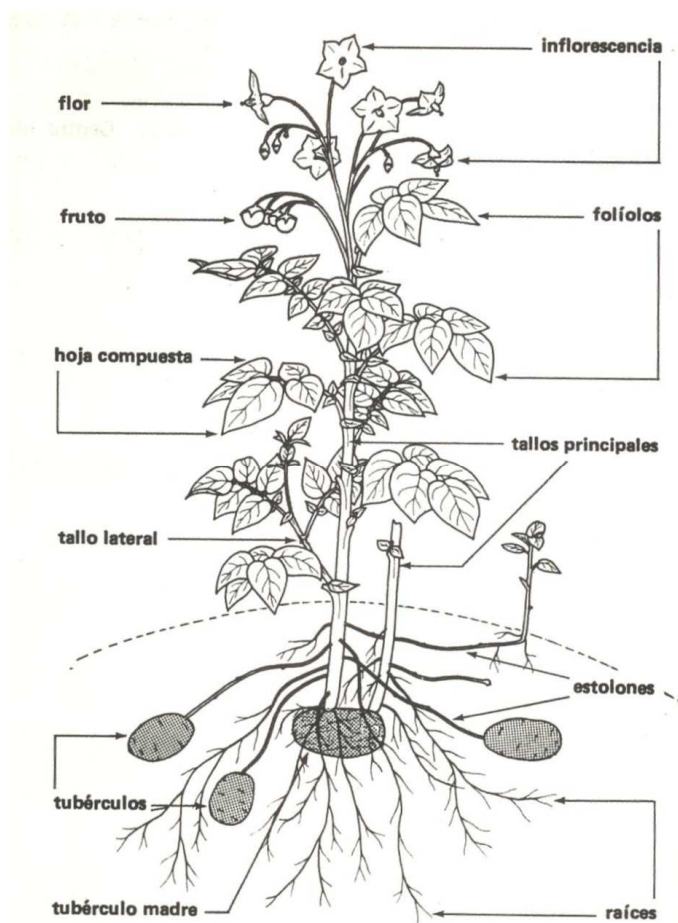


Figura 2. Esquema de una planta de papa

En una planta de papa, por encima del suelo encontramos:

- Tallos y hojas, que constituyen los órganos de fotosíntesis de la planta. De su tamaño y actividad depende la capacidad de la planta para la producción diaria y de su duración el tiempo durante el cual están creciendo los tubérculos. La figura 3 esquematiza el modelo de crecimiento del follaje de papa con sus ramificaciones. Varios niveles de ramificaciones resulta en un mayor número de hojas que normalmente resulta en una mayor duración del área foliar.
- Flores y frutos, que solo tienen importancia en el mejoramiento genético para la creación de nuevas variedades pues en el cultivo comercial se utilizan pequeños tubérculos o trozos de tubérculos más grandes como "semilla".

Y por debajo del suelo tenemos:

- Los estolones, que son tallos laterales que se forman en los nudos que crecen debajo del suelo, con crecimiento diageotrópico, entrenudos largos y cuya punta termina en un gancho (figura 4). Cuando se desarrollan los tubérculos, lo hacen desde la región subapical del estolón.
- Los tubérculos, que son tallos modificados para el almacenamiento de reservas, principalmente almidón. Tienen entrenudos muy cortos y hojas escasamente desarrolladas. Los entrenudos son mucho más grandes en diámetro que en largo. (Figura 5). El 'ojo' del tubérculo de papa es la ceja sosteniendo una yema lateral cuyos entrenudos no se han desarrollado.
- Las raíces adventicias, fasciculadas, que nacen desde la base de los brotes y a nivel de los nudos subterráneos, responsable de la absorción del agua y nutrientes desde el suelo y del anclaje de la planta.

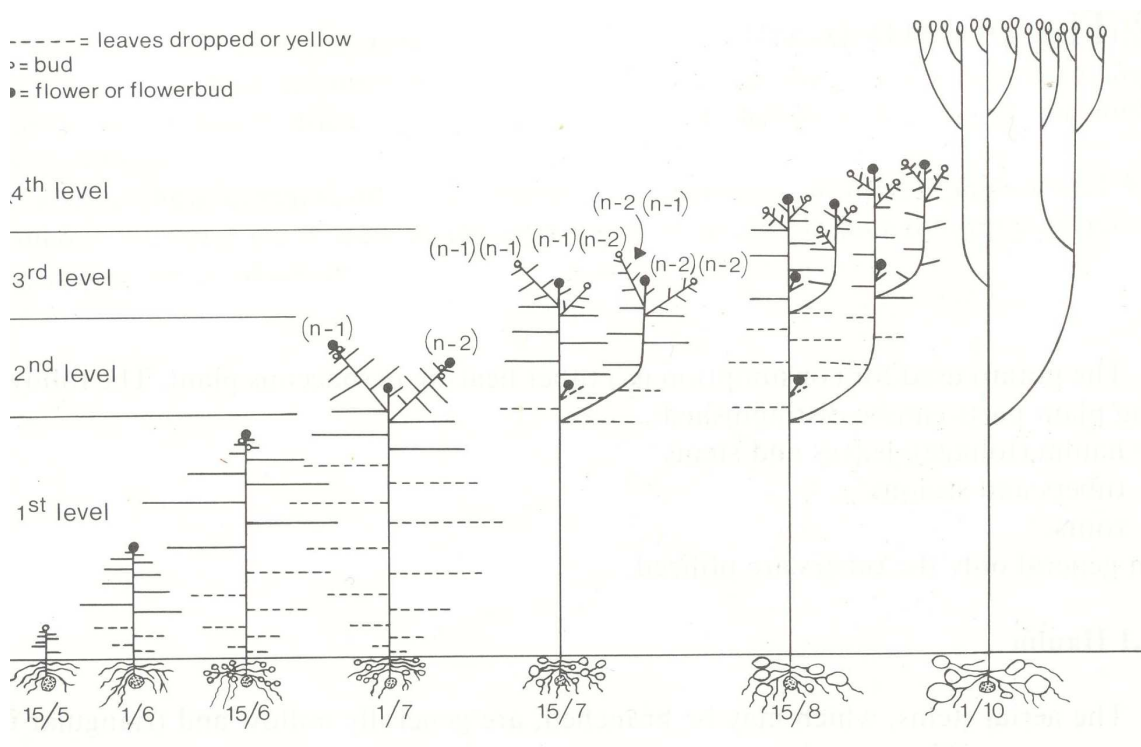


Figura 3. Esquema del modelo de crecimiento del follaje en la planta de papa

3.3. Desarrollo y crecimiento del cultivo de papa

3.1 Brotación y emergencia

Los cultivos comerciales de papa se instalan utilizando tubérculos como 'semilla'. Los tubérculos, mientras se forman y aún luego de la senescencia de la planta tienen una alta concentración de inhibidores del crecimiento que impiden que las yemas broten. Este período de dormancia tiene una duración variable (7-12 semanas aprox.) y depende fundamentalmente de la variedad y de las condiciones de temperatura, humedad y luz a las que se almacenan los tubérculos. La relación entre inhibidores y promotores del crecimiento va variando gradualmente. El tubérculo pasa del estado de dormancia a un estado que llamamos de brotación apical, en el cuál la yema apical del tubérculo comienza a brotar mientras que las otras aún están inhibidas. Si en este estado los tubérculos son plantados y puestos en condiciones de buena disponibilidad de agua y 17-20°C de temperatura de suelo, la yema apical crecerá y se desarrollará rápidamente, produciéndose por cada tubérculo semilla un solo tallo, que luego se ramificará intensamente.

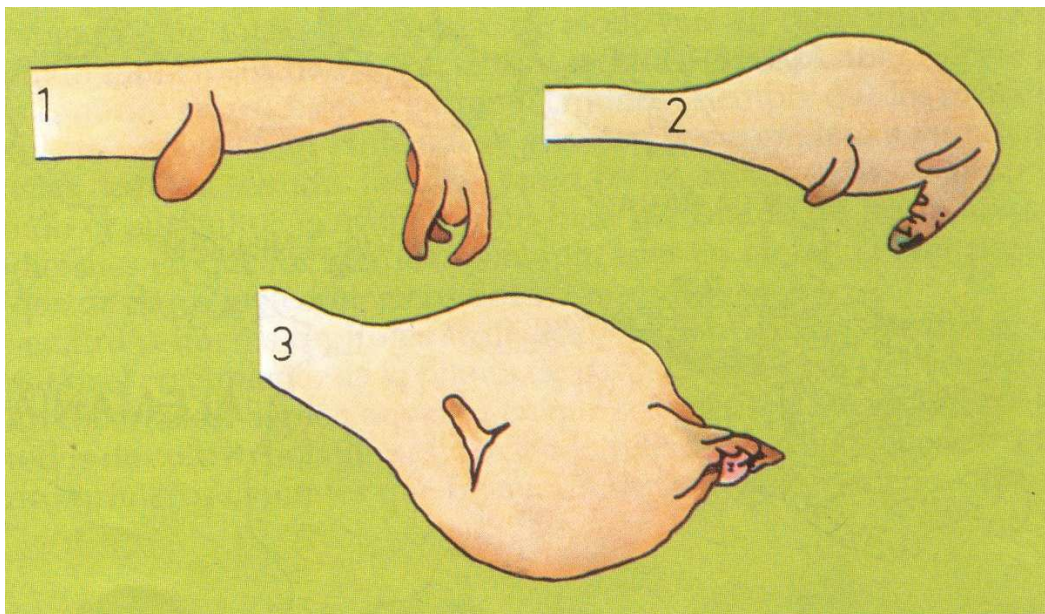


Figura 4. Inicio del crecimiento de un tubérculo de papa en el extremo de un estolón

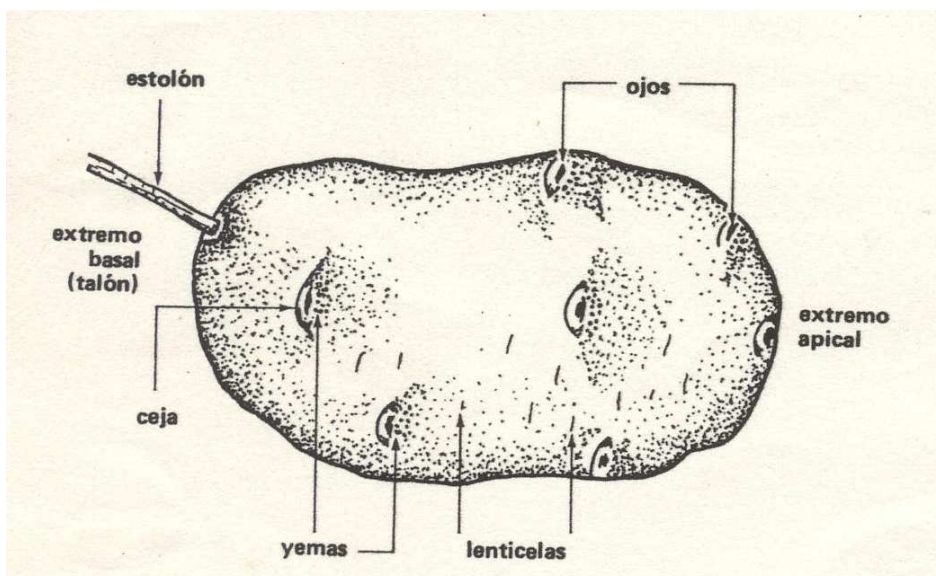


Figura 5. Anatomía del tubérculo de papa

Si en lugar de plantarse los tubérculos se mantienen en almacenamiento, gradualmente la dominancia apical se va perdiendo y las yemas siguientes empiezan a brotar pasando el tubérculo a un estado que llamamos de brotación múltiple. En este estado, al ser plantados los tubérculos darán origen a varios tallos que emergerán casi simultáneamente. En este estado y para una misma cantidad de tubérculos plantados, la densidad de tallos por ha que se logran puede ser 2-3 veces mayor que plantando tubérculos en brotación apical.

En la medida que la concentración de inhibidores va disminuyendo y consecuentemente la actividad metabólica va aumentando, se va consumiendo en forma cada vez más rápida las reservas almacenadas. Si pasado el estado de brotación múltiple los tubérculos aún no se plantaron empiezan a bajar rápidamente su vigor llegando a perder totalmente su calidad como semilla.

3.2. Crecimiento del follaje

En las primeras etapas del desarrollo, el crecimiento de la planta es sostenido por las reservas acumuladas en el tubérculo. La gran cantidad de reservas que este contiene permite que en condiciones óptimas de temperatura (de 20 a 23°C) la expansión del área foliar sea muy rápida. Al irse consumiendo las reservas y aumentando el área foliar fotosintéticamente activa, esta pasa a ser la fuente principal de asimilados. El cultivo de papa en condiciones óptimas de crecimiento puede llegar a cubrir totalmente el suelo en 40-45 días después de la emergencia.

El crecimiento del follaje es resultado de dos procesos combinados: ramificación y aparición de hojas y expansión o crecimiento de las hojas. En la planta de papa al igual que la de tomate, la yema apical del tallo luego de la producción de un número de hojas variable se diferencia en una yema floral. Entonces normalmente las yemas ubicadas en las axilas de la segunda y tercera hoja por debajo de la inflorescencia brotan dando ramas laterales. Estas ramas terminarán también en una inflorescencia pudiendo dar lugar a nuevas ramificaciones (Fig. 3). La cantidad de ramificaciones y por lo tanto el número de hojas que se produzcan dependen de la duración del período de aparición de hojas y de la tasa de aparición de hojas. Cuanto más largo sea el período de aparición de hojas, mayor cantidad de ramificaciones o 'pisos' o niveles de follaje se producirán (Fig. 3). A mayor temperatura (hasta 26-28°C) mayor será la tasa de aparición de hojas.

3.3 Tuberización

Cuando los tallos principales de la planta (los que se originan del tubérculo madre) tienen un desarrollo suficiente, es decir cuando la yema apical se diferencia en floral y por lo tanto disminuye la dominancia apical, las yemas subterráneas del tallo que están más cerca del tubérculo madre brotan originando los estolones (Fig. 2). Estos tallos subterráneos crecen en longitud hasta que reciben estímulos para iniciar la tuberización. Al iniciar la tuberización cesa el crecimiento en longitud y se ensancha la región subapical del estolón. En el inicio se agranda solamente la región subapical de la punta del estolón. El crecimiento involucra solamente un internodio (Fig. 4). Luego se incorpora un segundo internodio al desarrollo del tubérculo. En este estado, por la considerable expansión radial del tubérculo, el gancho se endereza y la yema apical del estolón queda situada en la posición terminal del tubérculo joven. El almacenamiento de reservas continúa incorporando nuevos internodios y es claro que los internodios hacia la corona se acortan en la medida que va disminuyendo el ritmo de crecimiento en longitud. La tuberización procede acropetalmente, involucrando alguna extensión longitudinal y una gran expansión transversal de los sucesivos internodios. Esta forma de crecimiento tiene un componente genético que hace que las distintas variedades tengan distinta forma de tubérculos

3.4 Senescencia

Cuando el crecimiento del follaje comienza a ser más lento y la tasa de senescencia de las hojas se incrementa, el follaje alcanza su máximo tamaño y comienza a declinar. En este momento estamos en la fase de máximo crecimiento de los tubérculos. Si la estación de crecimiento es lo suficientemente larga, el follaje muere totalmente en forma natural, y sus azúcares y nutrientes minerales son removilizados y transportados hacia los tubérculos. El crecimiento de los tubérculos continúa hasta que el follaje está casi totalmente muerto (Sarries, 2004). Al final del ciclo entre el 75 y 85 % del total de la materia seca producida por el cultivo se encuentra en los tubérculos. La muerte de la parte aérea del cultivo puede ser natural, debido a una helada, debido a enfermedades o plagas o provocada artificialmente, (mecánica, química o por calor).

3.4. Etapas en el desarrollo de la planta de papa y partición de asimilados

Del punto de vista del destino o uso de los asimilados disponibles para el crecimiento podemos distinguir tres etapas bien diferenciadas en el ciclo del cultivo de papa (Kooman, 1995).

Etapas 1 = va desde la plantación hasta el inicio de la tuberización (tubérculos diferenciados y con 1g o más de materia seca por m²). En esta etapa los asimilados se destinan al crecimiento de hojas, tallos, raíces y hacia el final de la etapa también estolones. Desde la plantación y hasta que cada planta tiene de 200-300 cm² de área foliar la fuente principal de asimilados son los almacenados en el tubérculo semilla, y luego, por el resto del ciclo del cultivo, los producidos por el área foliar y tallos aéreos.

Etapas 2 = va desde el inicio de la tuberización hasta el fin del crecimiento del follaje. En esta etapa los asimilados disponibles se comparten entre el crecimiento del área foliar y el crecimiento de los tubérculos y estolones (Fig. 6). A lo largo de esta segunda etapa, en la medida que se inician cada vez más tubérculos y estos aumentan su fuerza de fosa, una porción creciente de los asimilados disponibles se destina a estos en detrimento del crecimiento del follaje. Primero se detiene la ramificación y la aparición de hojas nuevas y al final de la etapa cesa totalmente el crecimiento del follaje.

Etapas 3 = va desde el fin del crecimiento del follaje hasta el fin del crecimiento del cultivo. El final del crecimiento del cultivo ocurre por la senescencia del follaje. El área foliar en esta etapa empieza a disminuir porque no hay desarrollo de hojas nuevas, las hojas más viejas van muriendo y el área foliar en su conjunto va gradualmente bajando su eficiencia fotosintética hasta que esta no es suficiente para mantener el crecimiento de los tubérculos. En esta etapa, entonces, todos los asimilados disponibles se destinan al crecimiento de los tubérculos.

3.5. Formación del rendimiento en el cultivo de papa

El rendimiento final de un cultivo de papa depende de la tasa de crecimiento promedio y del largo del período de crecimiento de los tubérculos. La proporción más importante del crecimiento de estos se da en la etapa 3 (Fig. 6), en la que prácticamente todos los asimilados disponibles son utilizados para el crecimiento de los tubérculos. La tasa de crecimiento de los tubérculos en esta etapa depende entonces solo de la capacidad de fuente del cultivo (TAN), o sea de la radiación solar interceptada y de la eficiencia con que el área foliar transforme la radiación en azúcares simples. La disponibilidad de agua, nutrientes, radiación y CO₂, y la edad del follaje determina la eficiencia de uso de la luz. El IAF determina la cantidad de radiación interceptada por el cultivo.

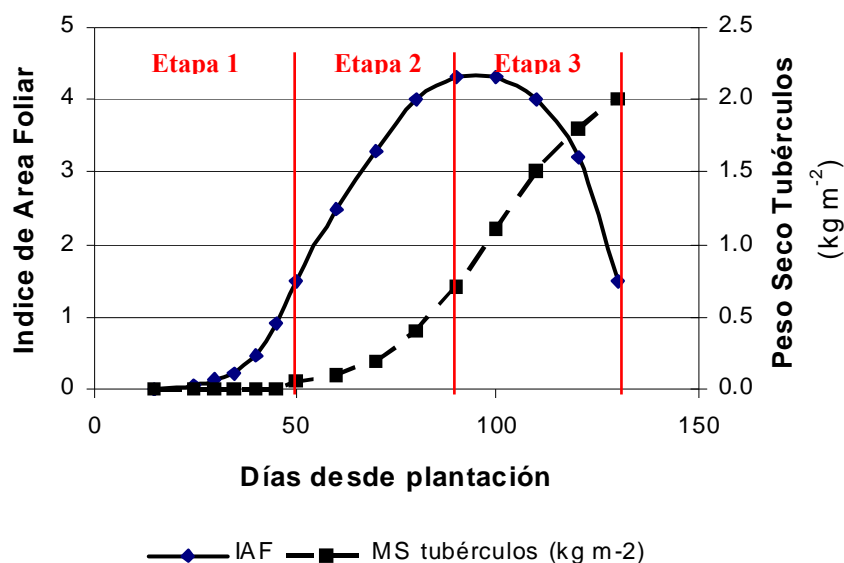


Figura 6. Modelo teórico de la evolución del IAF y del peso seco de tubérculos en un cultivo de papa en función de los días desde plantación.

La duración de la tercera etapa depende directamente de la duración de la cobertura del suelo por un follaje activo, o sea, de la duración del área foliar (DAF). La DAF está afectada por factores del ambiente como la intensidad de radiación, la temperatura y la disponibilidad de agua y nutrientes, pero en condiciones ambientales óptimas lo que determina la DAF en la etapa 3 es la cantidad de biomasa acumulada en el follaje en las etapas anteriores. Cuanto mayor sea esa cantidad de biomasa y el IAF al que se llega al final de la etapa 2, mayor va a ser la cantidad de radiación interceptada en la etapa 3, bajo condiciones ambientales adecuadas al crecimiento, y por lo tanto mayor el potencial de rendimiento del cultivo.

La cantidad de biomasa acumulada en el follaje es función de la cantidad de hojas que se diferencian y del tamaño promedio que alcancen dichas hojas. De acuerdo al modelo de crecimiento de la planta de papa, representado en la figura 3, la cantidad de hojas que se diferencian en la planta está directamente relacionada al número de ramificaciones que se alcanzan. La diferenciación de ramas y hojas en la planta de papa ocurre en la etapa 1, antes de la iniciación de la tuberización. Por lo tanto, la duración de la etapa 1 es un factor determinante del número de niveles de ramificación y por lo tanto del número de hojas formadas por planta. Kooman et al., (1996) encontraron que cuando se alarga un día la duración de la etapa 1, se alarga un día la duración de las etapas 2 y 3. Por lo tanto alargar un día la duración del período previo al inicio de la tuberización resultó en 3 días más de duración del ciclo de crecimiento del cultivo. En situaciones muy diversas de clima y variedades estos autores encontraron que la variable que explicó en mayor medida las diferencias de rendimiento entre cultivos fue el largo de ciclo.

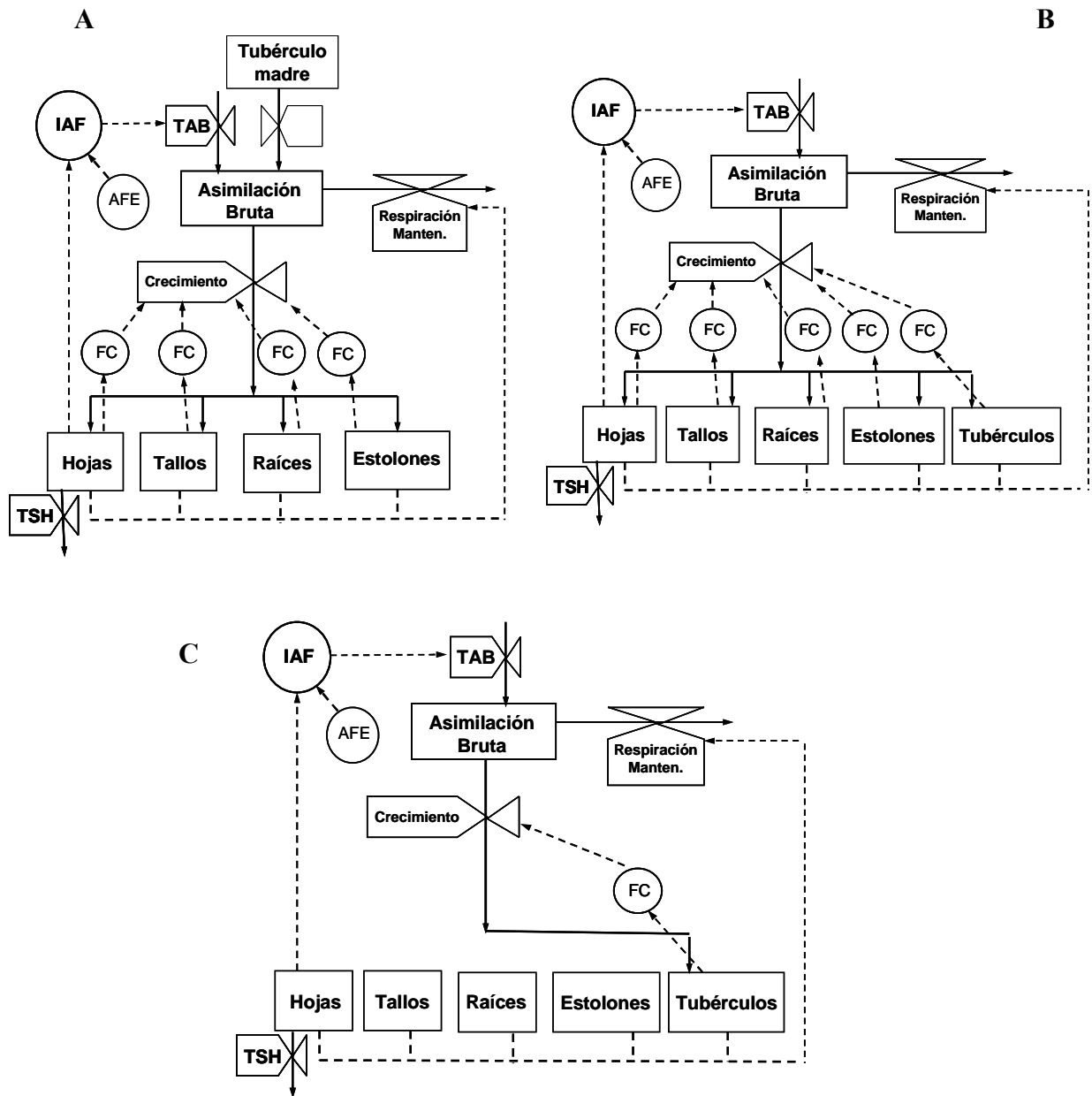


Figura 7. Modelo teórico del crecimiento del cultivo de papa desde plantación a inicio de tuberización (A), desde inicio de tuberización hasta fin de crecimiento del follaje (B) y desde fin de crecimiento del follaje a fin del ciclo (C).

En zonas de clima templado, con inviernos fríos y veranos frescos como en el Sur de Argentina o países del Norte de Europa, el cultivo de papa se siembra en primavera y se cosecha al final del verano con ciclos de crecimiento que pueden superar los 150 días con las variedades y el manejo adecuado. Por lo tanto en estas zonas hay una sola estación de crecimiento para el cultivo, pero de gran potencial de rendimiento. En zonas como el Sur de Uruguay tenemos dos estaciones de crecimiento, pero más cortas (100-120 días) y por lo tanto de menor potencial de rendimiento. El fin del ciclo del cultivo está determinado por la ocurrencia de las primeras heladas a fin del otoño y por temperaturas muy altas que detienen la tuberización a inicios del verano.

Entonces, ¿qué sucederá si un productor del Sur del Departamento de San José maneja su cultivo de verano-otoño de la misma forma que un productor holandés? Probablemente las primeras heladas de fines de mayo lleguen cuando el cultivo recién este iniciando la etapa 3

del ciclo. El crecimiento se interrumpirá en ese momento y provocará un período muy corto de crecimiento de los tubérculos y bajo rendimiento. En esta situación el cultivo tiene un bajo índice de cosecha porque no podemos aprovechar la gran cantidad de follaje producida durante las etapas 1 y 2 para el crecimiento de los tubérculos. Por lo tanto, una de las claves para aprovechar el potencial máximo de rendimiento que nos permite una zona agroecológica es adecuar el largo de cada etapa del ciclo al largo total de la estación de crecimiento.

El largo del período de plantación a inicio de tuberización (Etapa 1) influye en el largo de las siguientes etapas y por lo tanto en el largo total del ciclo (Kooman et al., 1996; Biemond, 1995). Esta influencia se debe a que en la etapa inicial es cuando se diferencian los tallos y las hojas, y por lo tanto se determina el número potencial de éstas. Estudiar los factores del ambiente y de la planta que afectan la duración de este período equivale a estudiar cuales son los factores que influyen en el inicio de la tuberización, ya que es este fenómeno el que marca el fin de la primera etapa.

3.6. Factores que determinan el inicio de la tuberización

La formación de tubérculos (definido como la inducción, iniciación, crecimiento y maduración de tubérculos) es el proceso determinante en la formación de la cosecha de un cultivo de papa. Existen varios factores del ambiente y del manejo que afectan el inicio de la tuberización.

6.1 Fotoperíodo

La papa es una planta de día corto. En su lugar de origen, el acortamiento de los días es la señal que anuncia la llegada del período frío, inadecuado para el crecimiento. Ante este estímulo la planta inicia la formación de sus órganos de almacenamiento y resistencia (los tubérculos). A través de la domesticación y la adaptación a condiciones de clima muy diversos, el hombre fue desarrollando numerosas variedades de papa con diferencias grandes en cuanto a la respuesta al fotoperíodo. Desde variedades casi insensibles a este estímulo hasta variedades muy exigentes en fotoperíodo para iniciar la tuberización. Entonces, en general podemos decir que el acortamiento de los días o fotoperíodo corto es un factor que estimula o acelera la entrada en tuberización de la mayoría de las variedades, pero no determina este proceso. Es decir, que en condiciones de día largo o fotoperíodos crecientes muchas variedades también iniciarán la tuberización, aunque el largo de la etapa 1, a igualdad de condiciones de otros factores, será algo mayor con días largos que con días cortos, o sea que podemos decir que la respuesta de este cultivo al fotoperíodo es una respuesta cuantitativa.

La percepción del fotoperíodo por parte de la planta ocurre en la hoja y de alguna manera esta señal debe ser transmitida a los estolones debajo del suelo, donde ocurrirá la formación de los tubérculos. Ya en 1956 y 1958 Gregory y Chapman, respectivamente, demostraron que tal señal es transmitida a través de injertos. Injertos de hojas de plantas de papa que estaban inducidas a tuberizar tuvieron efectos inductores sobre lotes no inducidos, aún cuando luego del injerto estos ellos fueron mantenidos en condiciones no inductoras. La naturaleza de esta señal es probablemente hormonal. Se mueve a través del floema tanto acrópeta como basipetalmente. La señal puede tener más de un componente, por ejemplo una sustancia inductora que aumenta bajo condiciones inductivas y/o una sustancia inhibitoria que disminuye bajo condiciones inductivas. El grado de conocimiento actual muestra que hay una gran probabilidad en que el Fitocromo B esté involucrado en la inhibición de la tuberización en DL más que en la inducción de la tuberización en DC. La remoción del fitocromo B resulta en tuberización tanto en DL como en DC. La tuberización de plantas "insensibles" a fitocromo B bajo DL puede ser causada por una reducción en los

niveles de un inhibidor o por la producción de una sustancia inductora en DL normalmente no inductor. Que el fitocromo B está involucrado en la producción de una señal(es) transmisible ha sido mostrado por experimentos con injertos en los cuales plantas de un tipo silvestre *S. Tuberosum ssp. andígena* pueden ser inducidas a tuberizar en DL por injerto sobre un tallo de una planta con fitocromo B "insensible" pero no por un injerto desde otra planta tipo silvestre (Jacskson y otros, 1998). La tuberización de tales plantas injertadas no ocurre si se dejan algunas hojas en el "pie" de tipo silvestre. Una sección de planta tipo silvestre injertada sobre un "pie" de planta tipo silvestre no tuberizó, mientras que una sección de planta 'fitocromo B insensible' pudo inducir al "pie" tipo sensible a tuberizar en condiciones de día largo. Además, con el injerto recíproco de un tallo de planta silvestre sobre un tallo ("pie") de planta 'fitocromo B insensible', se inhibe la tuberización en la planta "insensible" que ocurre normalmente en DL. Estos resultados indican que existe un inhibidor de tuberización en las hojas de plantas de papa tipo silvestre en DL y que los niveles más bajos de fitocromo B en las plantas "insensibles" han conducido a reducir los niveles de este inhibidor, permitiendo así que ocurra tuberización en DL. El fitocromo B parece, entonces, estar involucrado en la producción de un inhibidor en las condiciones inductoras de DL.

En la Figura 8 se muestra la tasa de desarrollo de cuatro variedades de papa en el período desde emergencia a inicio de tuberización, bajo fotoperíodo corto y largo y en distintas condiciones de temperatura. La variedad *Première* es una variedad con menor respuesta al fotoperíodo que las otras. La duración del período hasta inicio de la tuberización en esta variedad se alarga solo un 25% con el fotoperíodo de 17 horas mientras que en la variedad *Producent* la duración se duplica. En las cuatro variedades se alcanza el inicio de la tuberización aún en condiciones de fotoperíodo largo (17 h), aunque a tasas más bajas.

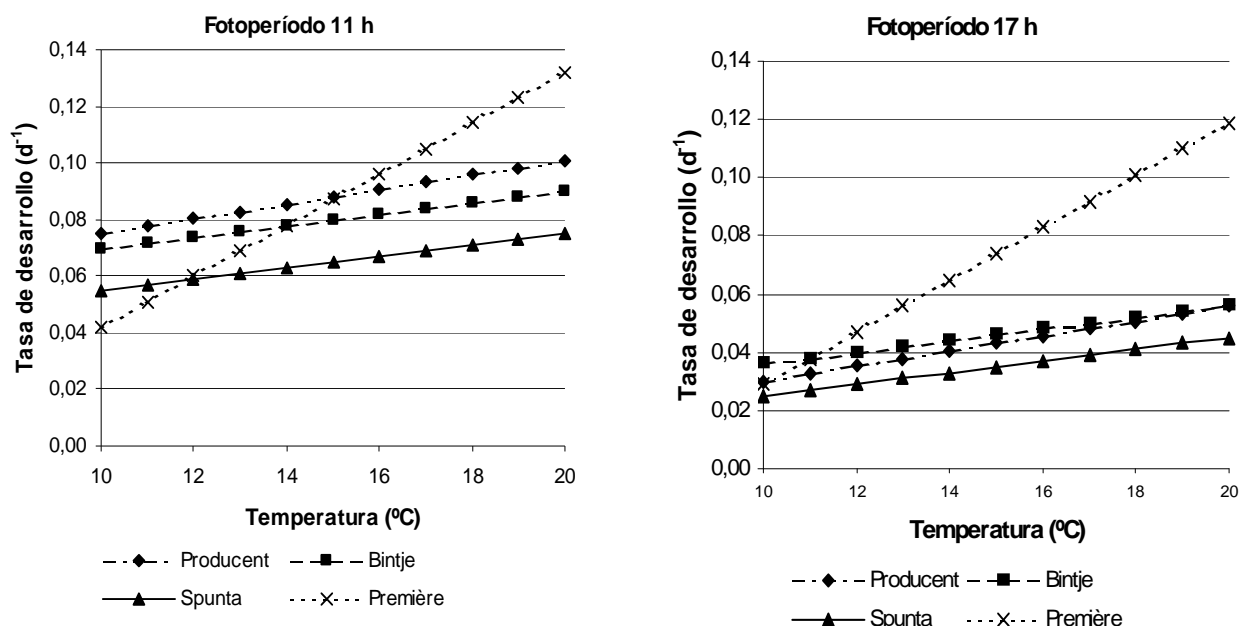


Figura 8. Efecto de la temperatura media y del fotoperíodo en la duración del período de emergencia a inicio de la tuberización en cuatro cultivares de papa (tasa de desarrollo = inverso de la duración en días del período). (Fuente: Kooman, 1996)

6.2 Temperatura

En el inicio de la tuberización, el otro factor que juega un rol fundamental además de la sensibilidad al fotoperíodo dada por el Fitocromo B, es la disponibilidad de asimilados o azúcares simples en la planta para el inicio de los tubérculos. Al igual que la aparición del primer racimo floral en la planta de tomate, el inicio de la tuberización en la planta de papa está afectado por la relación Fuente/Fosa. Como la temperatura es uno de los factores

fundamentales que afecta esta relación, tiene una gran influencia en la determinación del momento de inicio de la tuberización.

La papa es un cultivo C3, al igual que tomate. La TAN en plantas C3 es máxima entre 18 y 23°C (ver Figura 12 del repartido de tomate). Por encima de 25°C, la TAB no aumenta significativamente, mientras que la respiración de mantenimiento sigue aumentando en forma importante, disminuyendo la cantidad de asimilados disponibles para el crecimiento. Por lo tanto, del punto de vista de la disponibilidad de asimilados (Fuente), las temperaturas óptimas están en el rango entre 18 y 25°C.

La temperatura tiene también una fuerte influencia en la fuerza de fosa de la planta. A mayor temperatura (hasta 27-28 °C), mayor es la tasa de crecimiento potencial del follaje y por lo tanto mayor es su capacidad de consumir asimilados disponibles. Como antes del inicio de la tuberización (y aún luego de iniciada hasta que no hay varios tubérculos creciendo activamente en la planta), la principal fosa es el follaje, las condiciones que favorezcan el crecimiento de este van a retrasar el inicio de la tuberización. Esto se debe a que las condiciones que favorezcan un rápido crecimiento del follaje hacen que este consuma todos los asimilados disponibles.

Por lo tanto, temperaturas por encima de 20 ° C no causan aumentos significativos en la TAN (Fuente), pero si en la Fuerza de fosa de la planta, bajan la relación Fuente/Fosa y retrasan el inicio de la tuberización (Fig. 9). A su vez, a temperaturas por debajo de 17 °C, si bien tenemos una baja fuerza de fosa del follaje, la TAN es menor y también es menor la tasa de aparición y expansión de hojas que permita alcanzar una alta intercepción de la radiación en corto tiempo. Esto hace que a temperaturas por debajo de 17 °C también retrasen el inicio de la tuberización (Fig. 9). Entre 17 y 20 °C no hay diferencias significativas (Kooman y Haverkort, 1994).

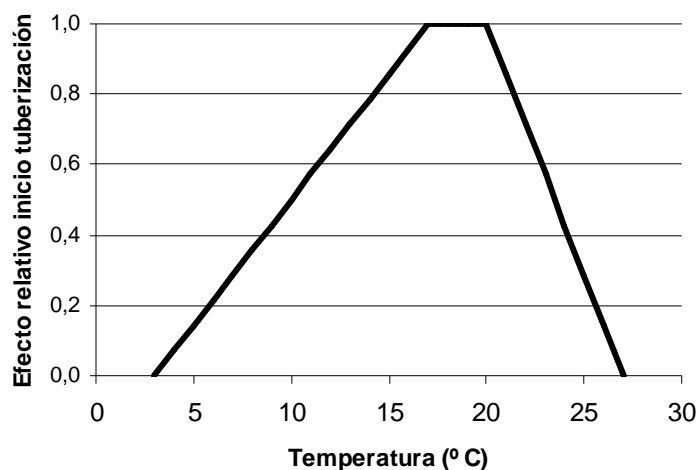


Figura 9. Efecto relativo de la temperatura en la tasa de iniciación de los tubérculos en papa. (Fuente: Coman y Haverkort, 1994).

6.3 Nitrógeno

Alta disponibilidad de N aumenta la duración del área foliar (DAF) o cobertura del suelo por el cultivo de papa, principalmente a través de una tasa más alta de aparición de hojas (ramificación) y de expansión del área foliar (Ver Figura 10; Vos, 1994; Biemond, 1996).

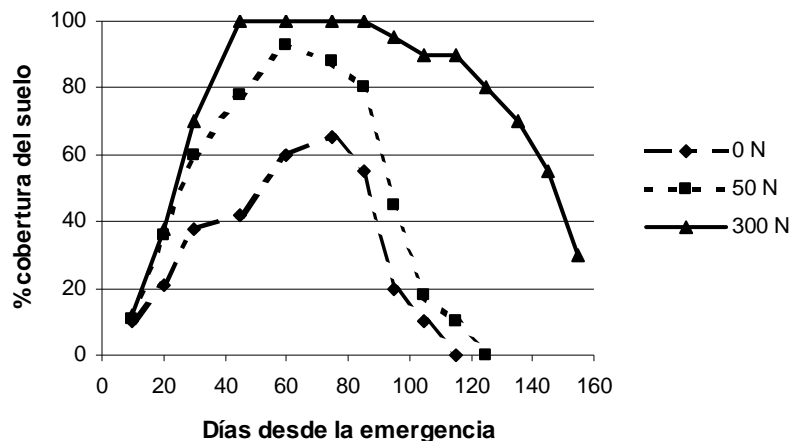


Figura 10. Efecto de la fertilización con N en la evolución del porcentaje de suelo cubierto por el follaje en función de los días desde la emergencia del cultivo de papa. (Fuente: Vos, 1994).

El principal factor del desarrollo de la planta que es directamente influenciado por la disponibilidad de N es el número de hojas totales en la planta. El número de hojas en la planta se ve afectado a través del grado de ramificación que se alcanza y no a través de la tasa de aparición de hojas en cada rama (este factor es afectado por la temperatura). A mayor disponibilidad de N, se produce un mayor número de ramificaciones del tallo principal, y por lo tanto se diferencia un mayor número de hojas (Vos y Biemond, 1992). La longevidad de las hojas se ve afectada por la disponibilidad de N, pero en menor medida. La longevidad de las hojas disminuye cuando ocurren déficits severos de N (Vos, 1994). Vos y Biemond (1992) encontraron que a dosis altas de N la longevidad de las hojas más jóvenes (las que están en la parte más alta de la canopia), aumenta en 20 días respecto a plantas que recibieron la mitad de la dosis de N. La disponibilidad de N también afecta el crecimiento de las hojas, a través de la tasa de expansión. La duración del período de crecimiento de cada hoja en particular es independiente de la disponibilidad de N, pero no así la velocidad a que la hoja crece. Por lo tanto con disponibilidad de N no limitante, se alcanza un mayor tamaño promedio de hojas.

En los párrafos anteriores explicamos como afecta el N al crecimiento y duración del follaje, pero ¿Cuál es el efecto de la disponibilidad de N en la tuberización?. En la sección 6.2 dijimos que la relación Fuente/Fosa es determinante en el inicio de la tuberización, y que aquellas condiciones que favorecen una alta fuerza de fosa del follaje retrasan la tuberización. Por lo tanto, la disponibilidad de N por su fuerte influencia en el crecimiento del follaje, retrasa el inicio de la tuberización y alarga la duración de todo el ciclo del cultivo por su gran influencia en la duración de la etapa 1 (emergencia a inicio de tuberización).

6.4 Radiación incidente y disponibilidad de agua

En la medida que una alta disponibilidad de asimilados promueve la tuberización, condiciones de alta luminosidad favorecen el inicio de la tuberización en plantas de papa, a igualdad de otros factores ambientales.

Un estrés hídrico moderado durante la etapa de expansión del follaje (etapas 1 y 2 del ciclo del cultivo de papa), frenan el crecimiento del follaje y favorecen la partición de asimilados hacia el crecimiento de los tubérculos, sobre todo cuando ya existen tubérculos iniciados en la planta. Este efecto del estrés hídrico puede interpretarse como un adelantamiento del fin del crecimiento del follaje a favor de la partición a los tubérculos. Esto puede resultar en un acortamiento del ciclo del cultivo.

6.5 Densidad de plantación y edad fisiológica de la semilla

Con una alta cantidad de tallos por unidad de superficie, provocada por una alta densidad de plantación y/o por tubérculos semilla en un estado más avanzado de brotación (brotación múltiple, ver sección 3), se logra cubrir el suelo por el follaje más rápidamente que con una baja densidad o semilla en estado de brotación apical. La competencia por luz entre tallos a alta densidad hace que la ramificación y aparición de hojas cese antes, y esto afecta en cierta medida el inicio de la tuberización, adelantándolo.

3.7. El control hormonal de la tuberización

Las hormonas juegan un rol crucial en la comunicación de las señales entre los órganos de las plantas. Una gran cantidad de investigaciones se han llevado a cabo para descubrir la naturaleza de las señales internas de la planta que resultan en el inicio y mantenimiento del proceso de tuberización. Debemos recordar que estas señales a través de hormonas son en última instancia resultado de señales del ambiente, al cual la planta se adapta.

Literatura reciente cita nuevas clases de sustancias de crecimiento que están solamente presente en plantas de papa inducidas y han probado ser activas como inductoras de la tuberización (ver revisión por Ewinng, 1995). Sin embargo, entre las muchas hormonas candidatas a regular la formación de tubérculos las giberelinas ocupan un lugar prominente (Xu et al., 1998b; Jackson, 1999).

7.1 El rol específico de las giberelinas.

Las mejores evidencias de control hormonal de la tuberización son con respecto al rol de las giberelinas (AGs). Los niveles y actividad de las giberelinas son altos en plantas creciendo bajo condiciones no inductivas (alta temperatura, alta radiación y día largo) y disminuyen bajo condiciones inductivas (temperaturas frescas y días cortos). Esta disminución precedió visiblemente el ensanchamiento de la punta de los estolones. (Xu et al 1998b). Los niveles de AG activos disminuyen en las hojas de plantas de *S. Tuberosum* ssp. andígena cuando se los transfieren de DL a condiciones de DC.

Tabla 1. Contenido de Acidos Giberélicos en hojas maduras de plantas de papa según longitud de día. Fuente: Vreugdenhi, D y Sergeeva, L., 1999.

<i>Acido Giberélico</i>	<i>Día Largo</i>	<i>Día Corto</i>
G ₁	147	27
G ₂₀	53	33

Nivel de Giberelinas en ng g⁻¹

Los AGs inhiben la tuberización y parecen jugar un rol importante en el control fotoperiódico de la tuberización para prevenirla en DL. Un mutante enano de *S. Tuberosum* ssp. andígena está habilitado para tuberizar en DL tanto como en DC al tener un bloqueo parcial en el camino de biosíntesis de AG. Además plantas tipo silvestre de *S. Tuberosum* ssp. andígena tratadas con un inhibidor (ancymidol) de la biosíntesis de AG pueden tuberizar en DL. Este tratamiento con ancymidol de plantas tipo silvestre resultó en la formación de tubérculos sésiles, con escasa o nula formación de estolón, de una manera muy similar a la formación de tubérculos sobre plantas con fitocromo B "insensibles". Estos resultados indican que una disminución en los niveles de AG pueden estar involucrados en la inducción fotoperiódica de la tuberización de plantas de papa y que los niveles reducidos en plantas con Fitocromo B "insensible" puede conducir a reducir los niveles de Acido Giberélico, e inhabilitar la tuberización en DL.

Estudios sobre el efecto de AGs en la tuberización "in vitro" han mostrado que las concentraciones de AG1 varían a través del estolón, con las mayores concentraciones

localizadas en la punta. La punta del estolón es también donde fueron observadas las mayores diferencias en las concentraciones de AG1 entre condiciones inductoras (8% sucrosa) y no inductoras (1% sucrosa) (Xu y otros, 1998). Fue también mostrado que, colocando esquejes "in vitro" en medios que alternan contenidos bajo y alto de AGs, se indujo la formación de cadenas de tubérculos "in vitro". Es conocido que los Ácidos Giberélicos promueven la elongación celular en los tejidos meristemáticos y esto resulta en una expansión celular longitudinal y así la elongación del estolón. Reduciendo los niveles de AGs resulta en expansión y división celular en sentido lateral.

En forma consistente se ha comprobado que la aplicación de giberelinas exógenas (Lovell y Booth, 1967; Menzel, 1980; Yanina y otros 1990 entre otros reportes) previene, inhibe o retrasa la tuberización y al mismo tiempo las plantas presentan abundante ramificación y floración. También se ha visto que la tuberización es mejorada por aplicación de bloqueadores de la biosíntesis de AG, como chlormequat (Menzel, 1980) o paclobutrazol (Balamini y Poovaiah, 1985).

7.2 Rol de otras hormonas

Actualmente hay poca evidencia que muestren un rol para otra hormona en el control de la inducción a la formación de tubérculos. Numerosas mediciones han sido hechas sobre niveles de auxina y citoquininas, pero los resultados han sido inconsistentes. Los niveles de ABA están afectados por el fotoperíodo con aumento de 4 veces medidos en plantas de *S. Tuberosum* ssp. andígena en condiciones inductoras de DC como opuesto a condiciones no inductoras de DL (Machackova et al. 1998). Sin embargo, como un mutante de papa deficiente en ABA, está habilitado a tuberizar (Quarrie, 1982) es claro que el ABA no es un componente esencial del estímulo de la tuberización. El efecto promotor de ABA sobre la tuberización, quizá sea debido a los efectos antagónicos de ABA y AG (Xu y otros, 1998).

La extracción con etanol desde hojas de papa inducidas condujo a la identificación y aislamiento del ácido tuberónico que "in vitro" mostró actividad para inducir tuberización. Esta sustancia está estructuralmente relacionada al ácido jasmónico (AJ), que también mostró niveles similares de actividad en inducir tuberización "in vitro" (Koda y otros, 1991). Pero en otros estudios no fueron observadas diferencias en los niveles endógenos de ácido jasmónico en los folíolos de plantas fotoperiódicas de *S. Demissum* creciendo en DC y DL. Además, aplicación de ácido salicilhydroxamic, un inhibidor de un paso en la biosíntesis del AJ, no previno la tuberización en condiciones de DC (Helder y otros, 1993). Estos resultados indican que diferencias en los niveles del propio AJ no controlan la tuberización. Esto no excluye la posibilidad que ácido tuberónico u otros compuestos relacionados con JA puedan estar habilitados para causar la tuberización en condiciones no inductivas, pero hasta ahora no hay reportes que estos compuestos hayan sido probados sobre plantas creciendo a campo.

3.8. Síntesis de la formación del rendimiento en el cultivo de papa

El rendimiento del cultivo de papa es función de la tasa de crecimiento de los tubérculos ($\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) y del largo del período de crecimiento de los tubérculos (días) (ver Figura 11). La tasa de crecimiento de los tubérculos depende de la TAN durante la etapa 2 y 3 del cultivo. Si no existen limitantes de agua y nutrientes o factores reductores como enfermedades o plagas, la TAN depende de la radiación interceptada por el cultivo, la temperatura y la concentración de CO_2 . La cantidad de radiación interceptada depende de la radiación incidente y del grado de cobertura del suelo por el cultivo o IAF. Cultivos de papa con un IAF de 3 y 4,5 interceptan aproximadamente 87 y 96% de la radiación incidente, respectivamente. Por lo tanto, cultivos con mayor IAF tienen una tasa de crecimiento potencial de los tubérculos mayor que cultivos con menor IAF.

Pero la cantidad de follaje formado por el cultivo no solo afecta la tasa de crecimiento de los tubérculos, sino que también tiene efecto en la duración del período de crecimiento de los tubérculos. El fin del ciclo de crecimiento de los tubérculos está marcado por la senescencia del follaje. En la medida que exista un período más largo de ramificación, aparición de hojas nuevas y expansión del follaje, se puede alcanzar un IAF más alto y se retrasa en el tiempo la senescencia del follaje, alargando así el ciclo del cultivo. Las condiciones del ambiente y del manejo (fotoperíodo, temperatura, disponibilidad de N, etc.) que atrasen el inicio de la tuberización, favorecen una mayor producción de follaje, alargan el ciclo del cultivo y aumentan el potencial de rendimiento.

Que este mayor potencial de rendimiento se pueda realizar realmente depende de que se pueda efectuar una estación más larga de crecimiento. Si por la ocurrencia de un fenómeno climático como una helada o un período de temperaturas muy altas (>30°C), o por el ataque de una enfermedad que destruya el follaje, el ciclo de crecimiento se interrumpe antes de la senescencia natural de las hojas, entonces el período de llenado de tubérculos se acorta y el rendimiento puede ser más bajo que el obtenido con un cultivo que haya formado menos follaje e iniciado antes la tuberización.

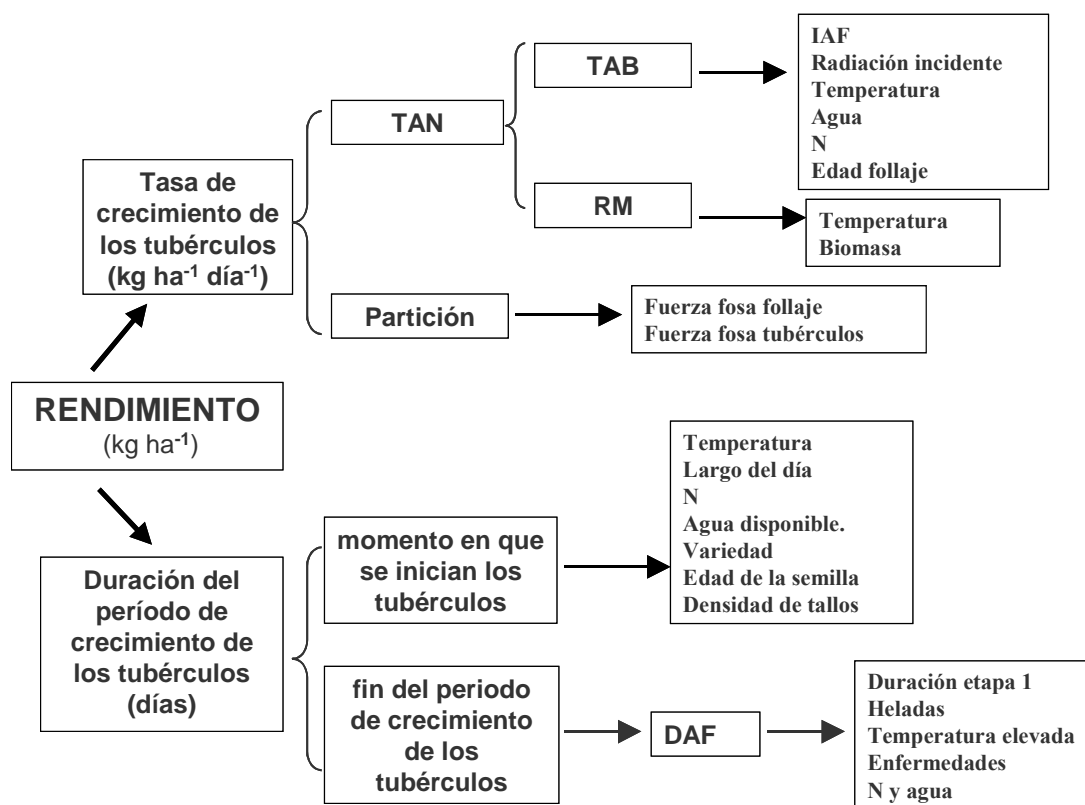


Figura 11. Formación del rendimiento en el cultivo de papa

En la figura 12 se presenta la evolución del IAF y del crecimiento de los tubérculos en cultivos de papa fertilizados con tres niveles de N. Vemos que a mayor dosis de N aplicada, se atrasa el inicio de la tuberización, se alcanza un mayor IAF máximo y mayor DAF y se alarga significativamente el largo del ciclo de crecimiento del cultivo y de los tubérculos en particular. Esto resulta en un mayor rendimiento del cultivo.

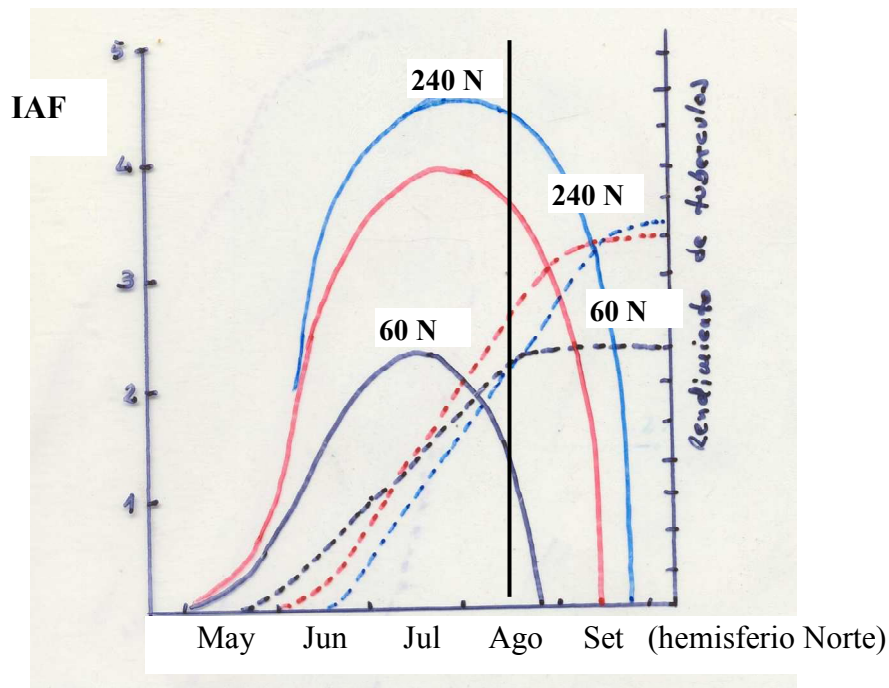


Figura 12. Efecto de la fertilización nitrogenada en el crecimiento del follaje (IAF), tubérculos y largo del ciclo del cultivo. (Fuente: Morby y Milthorpe, 1975).

Si a mediados de Agosto los cultivos se hubieran interrumpido por muerte del follaje el potencial de rendimiento del cultivo fertilizado con 240 uN (Figura 12) no se hubiera podido expresar. En esta situación el rendimiento comercial del cultivo fertilizado con 60 uN hubiera sido mayor debido a que el cultivo con 240 N tiene un número grande de tubérculos que no llegan al tamaño mínimo comercial.

Por lo tanto, uno de los puntos más importantes para la obtención del rendimiento potencial en papa es adecuar el largo de la etapa 1 del ciclo al largo total de la estación de crecimiento que tenemos en una determinada zona agroclimática.

3.9. Bibliografía

Aldabe, L. y Aldabe, R. El Cultivo de la Papa en el Uruguay. Diafi. 1976.

Beukema, H.P. and D.E. van der Zaag. Introduction to the Potato Production. Wageningen: Pudoc.III.1990.

Biamond, H., 1995. Nitrogen nutrition effects on development growth and nitrogen accumulation of vegetables. Ph D. Thesis, Wageningen University.

Burton, W.G. 1989. The Potato. Longman Scientific & Technical. N. York. 3^o Ed.

Harris, P. 1992. The Potato Crop: the scientific basis for improvement. Edited by Paul Harris. Chapman and Hall. London. New York. 2^o Ed.

Kooman, P.L., 1995. Yielding ability of potato crops as influenced by temperature and daylength. Ph D. Thesis, Wageningen University.

Kooman, P.L., Haverkort, A.J., 1994. Modelling development and growth of the potato crop influenced by temperature and daylength: LINTUL-POTATO. En: A.J. Haverkort y D.K.L. MacKerron (Eds.) Potato Ecology and modeling of crops under conditions limiting growth, Kluwer Academic Publishers, 379 p.

Kooman, P.L., Fahem, M., Tegera, P., Haverkort, A.J., 1996. Effect of climate on different potato genotypes: 1. Radiation interception, total and tuber dry matter production. European Journal of Agronomy 5, 193-205.

Struik, P.C., Ewing, E.E., 1994. Crop physiology of potato (*Solanum tuberosum*): responses to photoperiod and temperature relevant to crop modeling. En: A.J. Haverkort y D.K.L. MacKerron (Eds.) Potato Ecology and modeling of crops under conditions limiting growth, Kluwer Academic Publishers, 379 p.

Skruik, P.C.; Dick Vreugdenhil, Herman J. van Eck, Christian W. Bachem y Richard G. F. 1999. Visser. Potato Research 42 313-331

Jackson, S.D. Plant Physiology, Januari 1999, Vol. 119, pp.1-8

Moorby and Milthorpe. 1983. In Evans. Fisiología de los Cultivos. Cap. 8 PAPA. Hemisferio Sur. Buenos Aires.

Vos, J., 1994. Nitrogen and growth of potato crops. En: A.J. Haverkort y D.K.L. MacKerron (Eds.) Potato Ecology and modeling of crops under conditions limiting growth, Kluwer Academic Publishers, 379 p.

4. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de cebolla (*Allium cepa* L.)

4.1. Características generales del cultivo de cebolla

La cebolla pertenece al género *Allium* de la familia *Alliaceae* de la clase *Monocotiledóneas*. Especies de este género, originario de las zonas montañosas de Asia Central han sido cultivadas por más de 5000 años. La cebolla solo existe como especie cultivada. Se presume que fue domesticada en las zonas montañosas de Turkmenistán, Uzbekistán, Tajikistán, Norte de Irán, Afganistán y Pakistán, entre los 32 y 40 grados de Latitud Norte (Figura 1) (Brewster, 1994). Sus parientes salvajes se encuentran en esta zona creciendo en parches de vegetación abierta y dispersa sobre suelos superficiales. Nunca se encuentran asociadas con plantas que formen una canopia densa o cerrada.



Figura 1. Centro de origen de la cebolla.

De acuerdo a su respuesta fisiológica y ecológica, la cebolla es una especie poco competitiva y que muestra adaptaciones a situaciones de estrés. Por ejemplo, luego de la emergencia tiene una baja tasa de crecimiento relativo y su canopia formada por hojas cilíndricas orientadas verticalmente es poco competitiva y por lo tanto los cultivos de cebolla son superados fácilmente por las malezas. El sistema radicular es superficial y la densidad de raíces es baja. Los estomas se cierran y la fotosíntesis cesa con una disminución relativamente pequeña del potencial hídrico de la hoja. Por otro lado, las plantas de cebolla parecen ser capaces de sobrevivir períodos largos de baja disponibilidad de agua y pueden llegar a bulbificar prematuramente en respuesta al estrés hídrico (Brewster, 1990). También son capaces de sobrevivir por largo tiempo a temperaturas muy bajas. El proceso de bulbificación probablemente evolucionó como una adaptación para sobrevivir a los veranos áridos y cálidos de su zona de origen. El bulbo es un órgano de resistencia cubierto de hojas secas, que una vez formado entra en dormancia y brota luego de levantada esta y en la presencia de humedad. El estímulo que la planta recibe, indicativo de que el verano se acerca, es el alargamiento de los días. Al percibir el aumento del fotoperíodo la planta inicia el proceso de bulbificación. La competencia con otras plantas vecinas acelera la bulbificación, lo cual es indicativo de que la cebolla es una planta que tiene como estrategia no la competencia sino la tolerancia al estrés

4.2. Anatomía de la planta de cebolla

El tallo de la planta de cebolla es un disco basal que se encuentra por debajo de la superficie del suelo. En la parte superior y central de este disco se encuentra el meristemo apical, donde se inician las hojas, en forma opuesta y alternada, de tal manera que las hojas emergen en dos filas a 180° una de otra. Las hojas tienen dos partes bien diferenciadas: la vaina y la lámina. Las vainas de las hojas rodean completamente el punto de crecimiento formando un tubo que se proyecta desde el tallo y encierra en su interior a las hojas más jóvenes. Toda esta estructura se denomina 'falso tallo'. En la unión de la vaina y lámina de la hoja hay una abertura por la cual sale la lámina de la siguiente hoja. La lámina es un tubo hueco cerrado en la punta, ligeramente achatado en su cara superior (Figura 2).

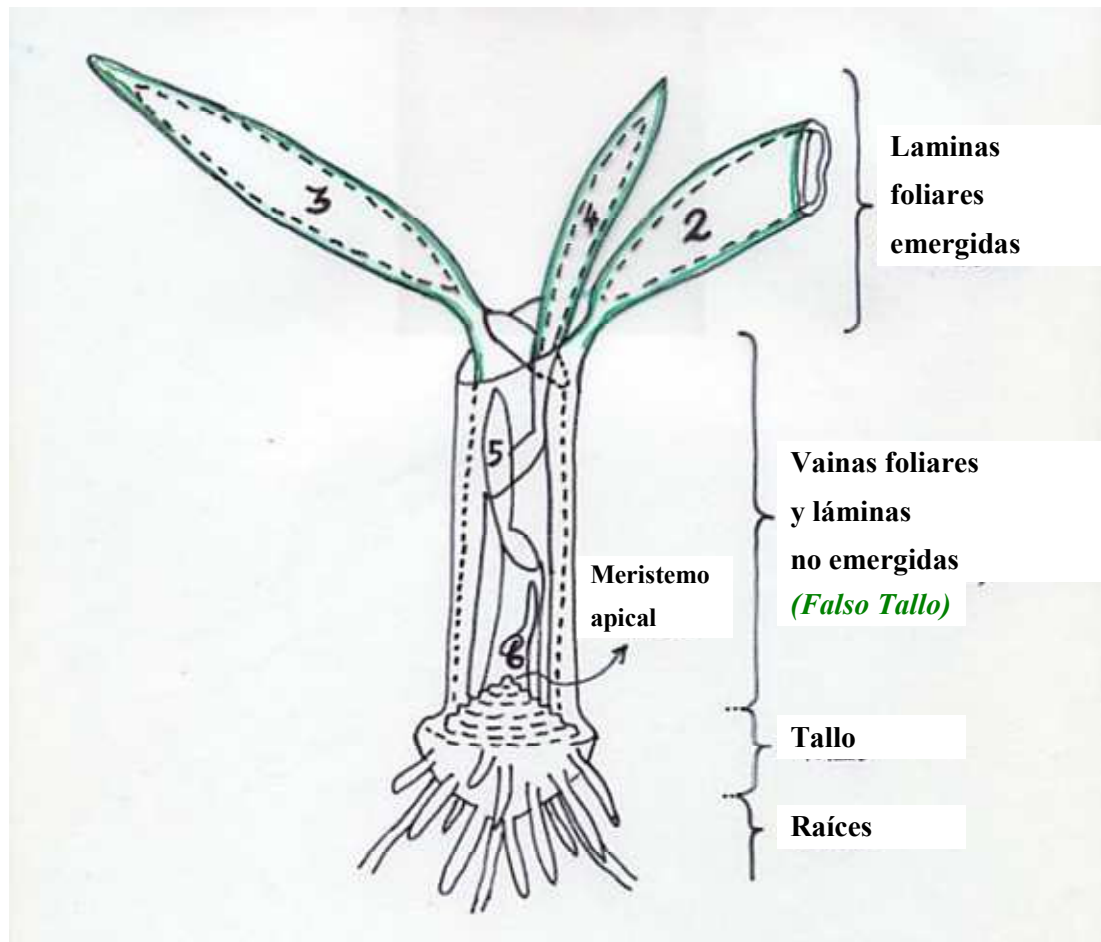


Figura 2. Representación esquemática de una planta de cebolla en la etapa de expansión de las hojas, previo al inicio de la bulbificación (adaptado de Jones y Mann, 1963).

La raíz embrional muere rápidamente y el sistema radicular se forma por raíces que salen continuamente del tallo y no se ramifican. Las raíces más jóvenes aparecen en la parte externa y superior del tallo. Alrededor del 90% del sistema radicular en la cebolla se concentra en los primeros 20 cm de suelo (de Mason, 1990).

El bulbo es un órgano de reserva formado por las vainas de las hojas más jóvenes que se hinchan al aumentar el tamaño de sus células por la acumulación de carbohidratos de reserva (principalmente fructanos). Cuando comienza la acumulación de reservas en las vainas de las hojas jóvenes, las láminas dejan de crecer y las últimas hojas nunca llegan a formar su lámina. Cuando el bulbo comienza a madurar, las vainas de las 3 o 4 hojas más

viejas se deshidratan y forman una cubierta protectora que se cierra en la parte superior del bulbo e impide su deshidratación (Figura 3).

Bajo las condiciones ambientales adecuadas el meristemo apical (y también otras yemas axilares) se diferencia en una yema floral dando origen a una inflorescencia. La inflorescencia es una umbela formada por hasta 600 flores y está ubicada en el extremo de un escapo verde y hueco que puede llegar a más de 1 m de largo. De un mismo bulbo pueden formarse varias inflorescencias (De Mason, 1990).

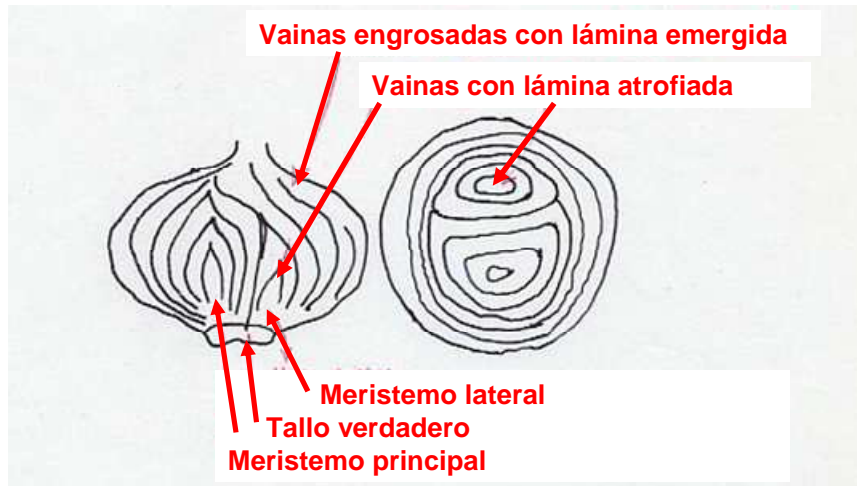


Figura 3. Representación esquemática de un bulbo de cebolla



4.3. Ciclo del Cultivo de Cebolla

La cebolla tiene un ciclo de vida bi-anual. En la primera estación de crecimiento se forma el bulbo (fase vegetativa) y en la segunda se forman las inflorescencias y se produce semilla botánica (fase reproductiva), la cual es el modo de reproducción de esta especie (Figura 4). En nuestro país, el ciclo se inicia en otoño y termina en primavera o inicios del verano. En regiones de latitudes más altas, con inviernos muy fríos y veranos frescos, el ciclo se inicia con la primavera y termina a mediados o fines del verano.

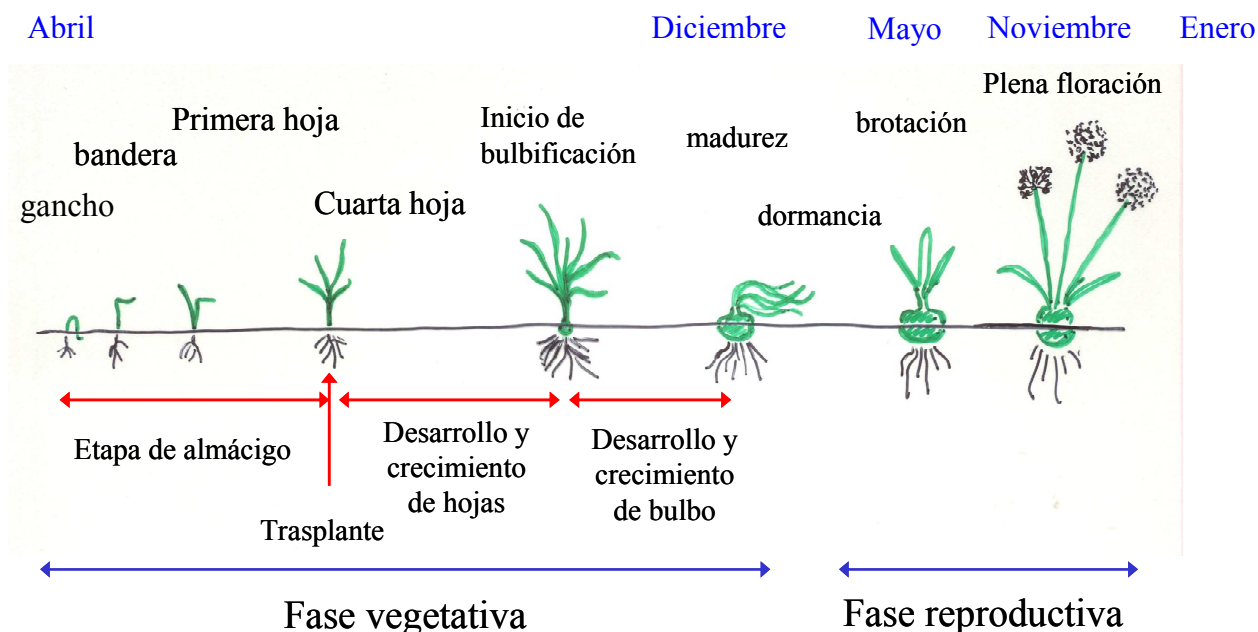


Figura 4. Esquema del ciclo normal de desarrollo de la cebolla

En Uruguay normalmente el cultivo se instala mediante la siembra de la semilla en almácigos, que son áreas pequeñas de canteros donde las semillas se siembran a alta densidad para producir 'plantines' o pequeñas plantas que luego se trasplantan al lugar definitivo de cultivo a una densidad menor. Se necesitan aproximadamente 350 m² de almácigo para producir los plantines necesarios (250 mil) para una hectárea de cultivo. En el Sur de Uruguay, los almácigos se siembran desde fines de marzo a mayo (dependiendo de la variedad) y se trasplantan de junio a setiembre. La cosecha de bulbos va de noviembre a enero, según la variedad. En el norte del país el ciclo se adelanta aproximadamente un mes (Figura 5). En buenas condiciones ambientales algunas variedades de cebolla pueden conservarse por hasta 6 o 7 meses, por lo que el mercado local se mantiene abastecido casi todo el año con cebolla de producción nacional. Los meses con problemas de abastecimiento son agosto y setiembre, cuando la cebolla almacenada en el Sur se está terminando y aún no ha comenzado la cosecha en el Norte (Figura 5).

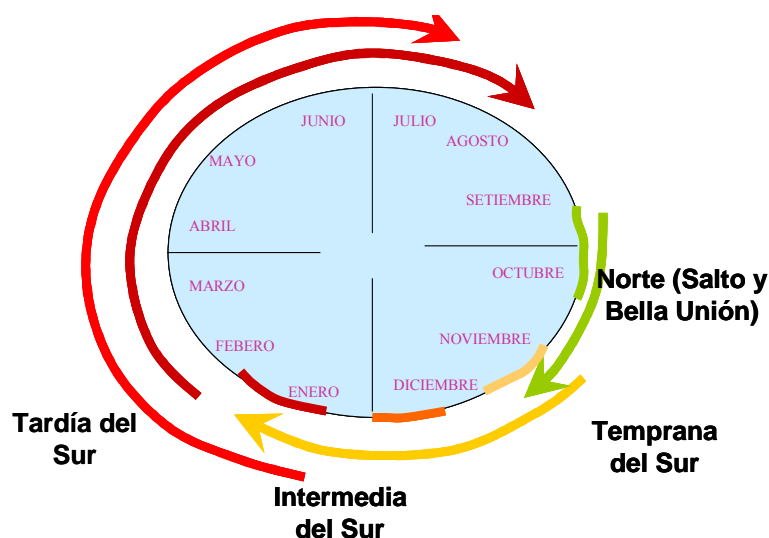


Figura 5. Períodos de cosecha de cebolla (línea entera interior) y abastecimiento al mercado (flechas exteriores) en el Uruguay.

Para producir semilla se pueden plantar bulbos de cebolla seleccionados desde mayo a agosto, estos bulbos brotan produciendo un gran número de hojas y en la primavera emiten varios escapos florales con una umbela cada uno en el extremo. La semilla se cosecha en enero.

4.4. Etapas en el desarrollo de la planta de cebolla y partición de asimilados

Teniendo en cuenta solamente la fase vegetativa del ciclo del cultivo de cebolla, o sea el primer año o la fase de producción de bulbos, podemos distinguir dos etapas bien diferentes del punto de vista del destino de los asimilados para el crecimiento de las distintas partes de la planta. La primera etapa va desde la emergencia hasta el inicio de la bulbificación y la segunda etapa va desde el inicio de la bulbificación hasta la maduración del bulbo o cosecha.

En la primera etapa la planta dedica los asimilados disponibles para el crecimiento del sistema radicular, y sobre todo del área foliar. En esta etapa se observa aumento en el número de hojas y en el área de las láminas de las hojas, de tal manera que cada nueva hoja alcanza un tamaño mayor que la hoja inmediata anterior. La principal fosa de la planta son las láminas de las hojas nuevas, seguido por las vainas y el sistema radicular. En esta etapa las vainas se mantienen finas y se van acumulando a medida que aparecen hojas nuevas (Figura 6).

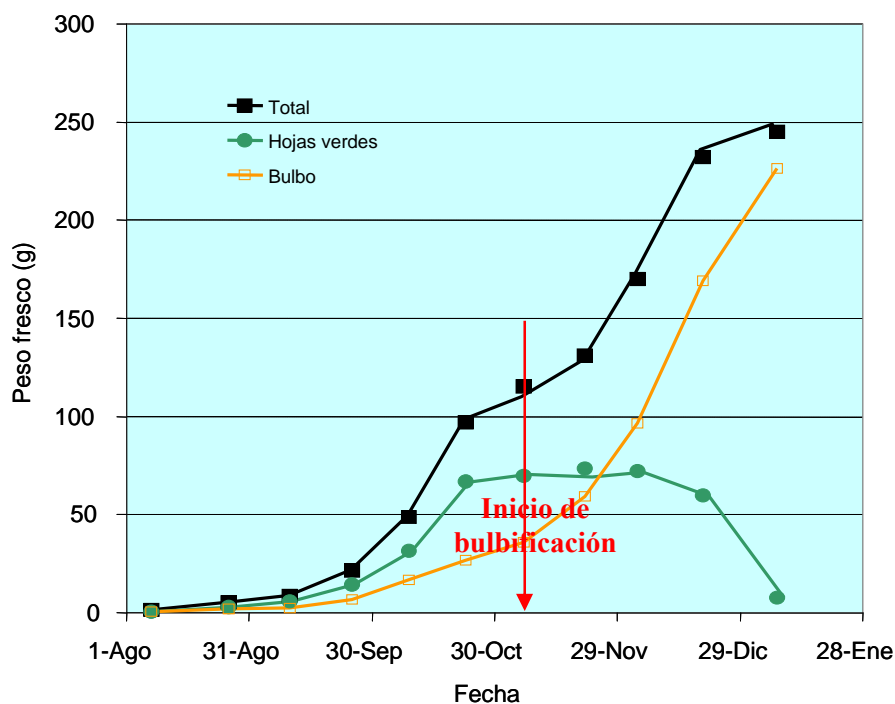


Figura 6. Crecimiento total (cuadrados negros), de hojas (círculos verdes) y de bulbo (cuadrado naranja) desde el trasplante a la cosecha en cebolla, expresado en gramos de peso fresco en función de la fecha de muestreo. La flecha roja indica el momento aproximado de inicio de la bulbificación. La información es del cultivar Valcatorce plantado en el Centro Regional Sur en 1997.

Cuando la planta recibe del ambiente las condiciones adecuadas para iniciar la bulbificación, el destino de los asimilados disponibles para el crecimiento cambia bruscamente (Figura 7). En esta segunda etapa dejan de aparecer hojas nuevas. Las láminas de las hojas nuevas ya emergidas terminan de crecer, pero no alcanzan un tamaño superior a las hojas anteriores. Las hojas que ya están formadas y que no tienen lámina emergida aún, quedan sin formar lámina. También cesa la aparición y elongación de nuevos primordios radiculares. Entonces,

una vez iniciada la bulbificación, todos los asimilados disponibles para el crecimiento se destinan a la elongación celular y acumulación de reservas en la base (parte inferior de las vainas) de las 4-6 hojas más jóvenes de la planta, para formar el bulbo. En la Figura 7 se observa cómo cambia bruscamente el destino de los asimilados disponibles para el crecimiento al iniciarse la bulbificación. Antes del inicio de la bulbificación aproximadamente el 75% del incremento del peso fresco de la planta de una observación a la siguiente se debía a las láminas de las hojas. Posteriormente casi el 100% del crecimiento se debe a aumento de peso del bulbo.

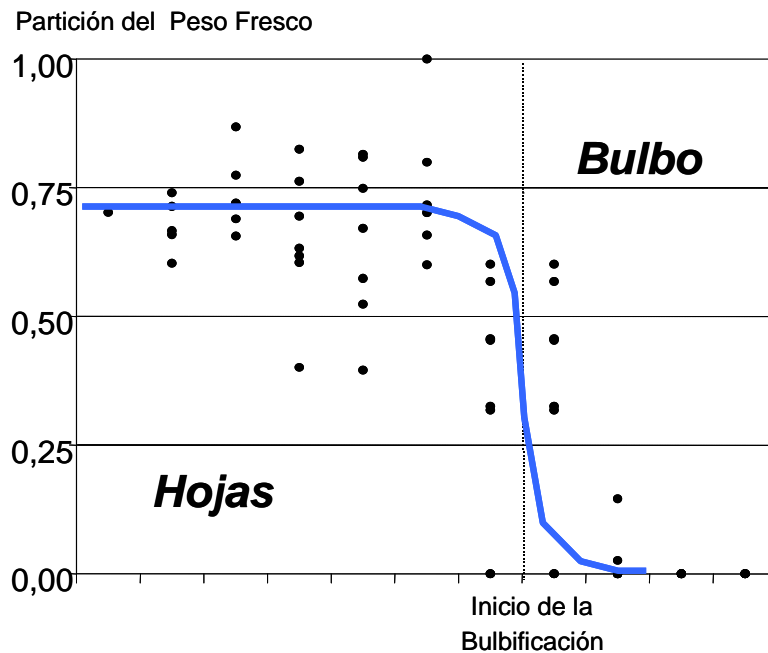


Figura 7. Fracción del aumento del peso fresco total de la planta de cebolla (sin tener en cuenta raíces) explicado por el crecimiento de las láminas de las hojas. Luego del inicio de la bulbificación el incremento del peso fresco de láminas se hace cero, y el único órgano que crece es el bulbo. Los puntos son datos obtenidos de 8 cultivos (3 cultivares en diferentes localidades). (Tesis Arias y Peluffo, 2001).

4.5. Formación del rendimiento en el cultivo de cebolla

En las Figuras 8 y 9 se representa esquemáticamente un modelo de crecimiento de este cultivo en la etapa 1 y 2, respectivamente. El rendimiento del cultivo de cebolla depende de la tasa de crecimiento del bulbo durante el período de bulbificación y de la duración de este período (Ecuación 2). Vimos que una vez que se inicia la bulbificación, todos los asimilados disponibles se destinan al crecimiento del bulbo, por lo tanto la tasa de crecimiento del bulbo depende de la Tasa de Asimilación Neta (TAN, Kg CH₂O ha⁻¹ d⁻¹) durante la bulbificación y del factor de conversión (FC) de azúcares simples en materia seca de bulbo (Ecuación 3). La TAN depende de la cantidad de radiación interceptada por las hojas y de la eficiencia con que esa luz se utiliza para producir asimilados y finalmente crecimiento del bulbo (Ecuación 4).

$$\text{Rendimiento (Kg ha}^{-1}\text{)} = \text{Rendimiento seco (kg MS ha}^{-1}\text{)} / (\text{Porcentaje de MS} / 100) \quad \text{Eq. 1}$$

$$\text{Rendimiento seco (Kg MS ha}^{-1}\text{)} = \text{TC (Kg MS ha}^{-1}\text{ d}^{-1}\text{)} * \text{Duración bulbificación (d)} \quad \text{Eq. 2}$$

$$\text{TC (Kg MS ha}^{-1}\text{ d}^{-1}\text{)} = \text{TAN (Kg CH}_2\text{O ha}^{-1}\text{ d}^{-1}\text{)} * \text{FC (Kg MS / Kg CH}_2\text{O)} \quad \text{Eq. 3}$$

$$\text{TAN (Kg CH}_2\text{O ha}^{-1}\text{ d}^{-1}\text{)} = \text{Radiación interceptada (MJ ha}^{-1}\text{ d}^{-1}\text{)} * \text{EUL (Kg CH}_2\text{O / MJ)} \quad \text{Eq. 4}$$

Dónde:

TC es tasa de crecimiento del bulbo

TAN es tasa de asimilación neta durante la bulbificación

FC es factor de conversión de azúcares simples en materia seca del bulbo

EUL es eficiencia de uso de la luz en azúcares simples producidos por mega joule de radiación interceptada por las hojas

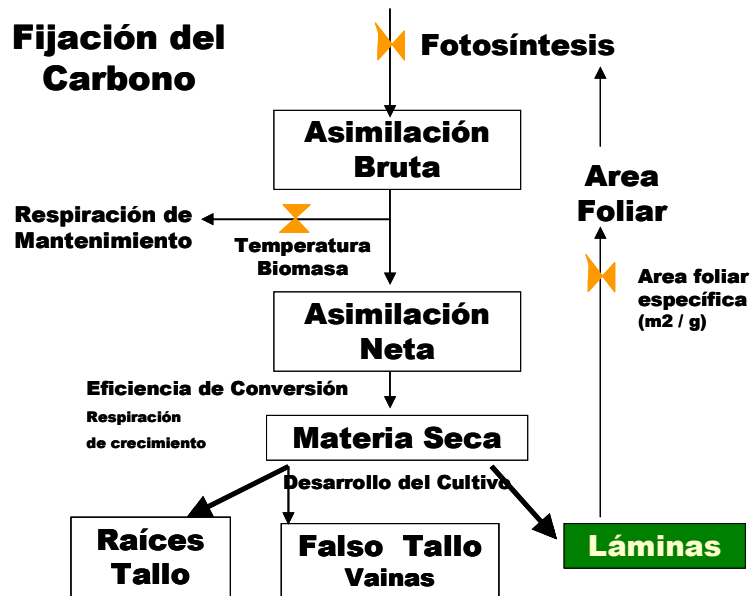


Figura 8. Modelo de formación del rendimiento en cebolla, etapa 1 o crecimiento del área foliar

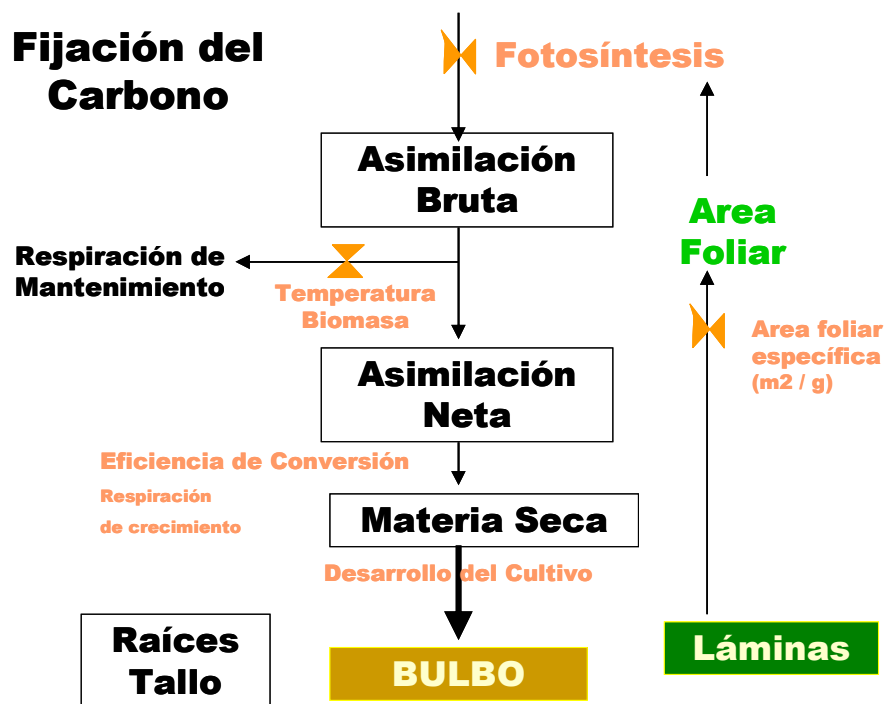


Figura 9. Modelo de formación del rendimiento en cebolla, etapa 2 o bulbificación

De este conjunto de cuatro ecuaciones relacionadas podemos deducir tres variables fundamentales para el rendimiento y que son afectadas en forma importante por el manejo del cultivo: la cantidad de radiación interceptada, la eficiencia de uso de la luz y la

duración de la bulbificación. En el Cuadro 1 se presentan los factores principales que afectan a cada una de estas variables.

La radiación interceptada por el cultivo depende principalmente de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (PAR) y del área foliar que tenga el cultivo durante la bulbificación. La PAR incidente es una variable climática que depende del lugar de cultivo y la época del año en la que se inicie la bulbificación, que depende a su vez de la variedad que se este cultivando. Como vimos anteriormente, el crecimiento del área foliar del cultivo se detiene al inicio de la bulbificación, por lo tanto el cultivo alcanza su IAF máximo en ese momento (Figuras 8 y 9). El IAF del cultivo va disminuyendo gradualmente desde inicio de bulbificación hasta la maduración del bulbo. El valor del IAF a inicio de bulbificación es una de las variables con mayor incidencia en el rendimiento final del cultivo. Depende de las condiciones de temperatura, disponibilidad de agua y nutrientes en la etapa de desarrollo y crecimiento de las láminas, y fundamentalmente, de la duración de este período, como veremos más adelante.

Cuadro 1. Factores principales que afectan el crecimiento del bulbo en cebolla durante la bulbificación

radiación interceptada	eficiencia de uso de la luz	duración de la bulbificación
Área Foliar activa	Temperatura media e intensidad de radiación	Temperatura media
Radiación incidente	Disponibilidad de agua	Porcentaje de la radiación incidente interceptada por el cultivo
Competencia de malezas	Disponibilidad de nutrientes Efecto de enfermedades y plagas	Disponibilidad de agua

La eficiencia de uso de la luz depende de la temperatura media. La cebolla es una planta C3 y tiene un rango óptimo para la fotosíntesis neta entre 19 y 22 °C. Por encima o por debajo de este rango, la EUL disminuye. Como ocurre con todos los cultivos, la EUL disminuye a medida que la intensidad de radiación aumenta. Déficit hídrico o de nutrientes también afectan negativamente la EUL.

La duración del período de bulbificación esta afectada fundamentalmente por la temperatura media y el porcentaje de la radiación incidente interceptada por el cultivo. Esta última variable es directamente dependiente del IAF al inicio de bulbificación, por lo que podemos decir que cuanto mayor es el IAF, menor es la duración del período de bulbificación. Brewster (1990) ajustó una regresión múltiple en la que la duración de la bulbificación fue explicada en un 74% por el porcentaje de radiación interceptada y la temperatura:

$$\text{Duración Bulbificación (d)} = 104.8 - 0.245 * \%R\text{Int} - 2.714 * \text{Temp. media}$$

4.6. La iniciación de la bulbificación

El momento de inicio de la bulbificación se determina en la práctica mediante el cálculo del "índice de bulbificación" (IB). Este se calcula como la relación entre el diámetro mayor del bulbo dividido el diámetro menor en la zona del falso cuello. Si este índice es igual o mayor que dos se considera iniciada la bulbificación.

$$\text{IB} = \text{Diámetro mayor} / \text{diámetro menor}$$

El inicio de la bulbificación es afectado por varios factores del ambiente, pero el factor único que determina la bulbificación en cebolla es **el fotoperíodo**. La planta de cebolla es una planta con respuesta de Día Largo (DL) y cualitativa al fotoperíodo. Si el largo del día no supera un determinado valor crítico, dependiente de la variedad, la planta no bulbifica (Cuadros 2 y 3). No importa cuanto tiempo pase ni cuál sea el valor de otras variables, si no se supera ese fotoperíodo crítico no hay bulbificación.

Cuadros 2 y 3. Respuesta de un cultivar de cebolla a diferentes fotoperíodos constantes.

Fotoperíodo	Resultado
10 hs.	No bulbifica, produce hojas indefinidamente
13 hs.	Bulbifica, pero sigue produciendo hojas
14.9 hs.	Bulbifica, las hojas senescen y el bulbo madura
20 hs.	Bulbifica las hojas senescen y el bulbo madura

Gardner y Allard, 1923

Fotoperíodo (h)	Bulbos Normales (%)
11	50
12	75
13	80
14	95
15	100

Fotoperíodo crítico
para esta variedad

Torres, 1959

Sin embargo existen otros factores externos y de la propia planta que pueden hacer variar los requerimientos de fotoperíodo crítico (FPc) para bulbificar. El más importante de estos factores es la **temperatura media**. Como en todos los procesos vegetales existe una temperatura mínima por debajo de la cual no hay bulbificación. Por encima de este mínimo, a medida que aumenta la temperatura se ha observado que el valor del FPc disminuye. Por ejemplo, la Figura 10 muestra como el cultivar Hyton requiere un FPc entre 15 y 16 horas para llegar a una tasa de bulbificación significativa a 13 °C de T media, pero que a 18 °C es capaz de bulbificar razonablemente con solo 12 horas de fotoperíodo (Brewster, 1994). Comparando la respuesta de los dos cultivares representados en la Figura 10 se ve claramente que el cultivar 'Keepwell' es más 'temprano' o con menos requerimientos de FPc y T para iniciar la bulbificación.

Factores de estrés para la planta como es un déficit importante de Nitrógeno o de agua pueden adelantar el inicio de la bulbificación (disminuir el requerimiento de FPC), como se muestra para el caso del N en los Cuadros 4 y 5.

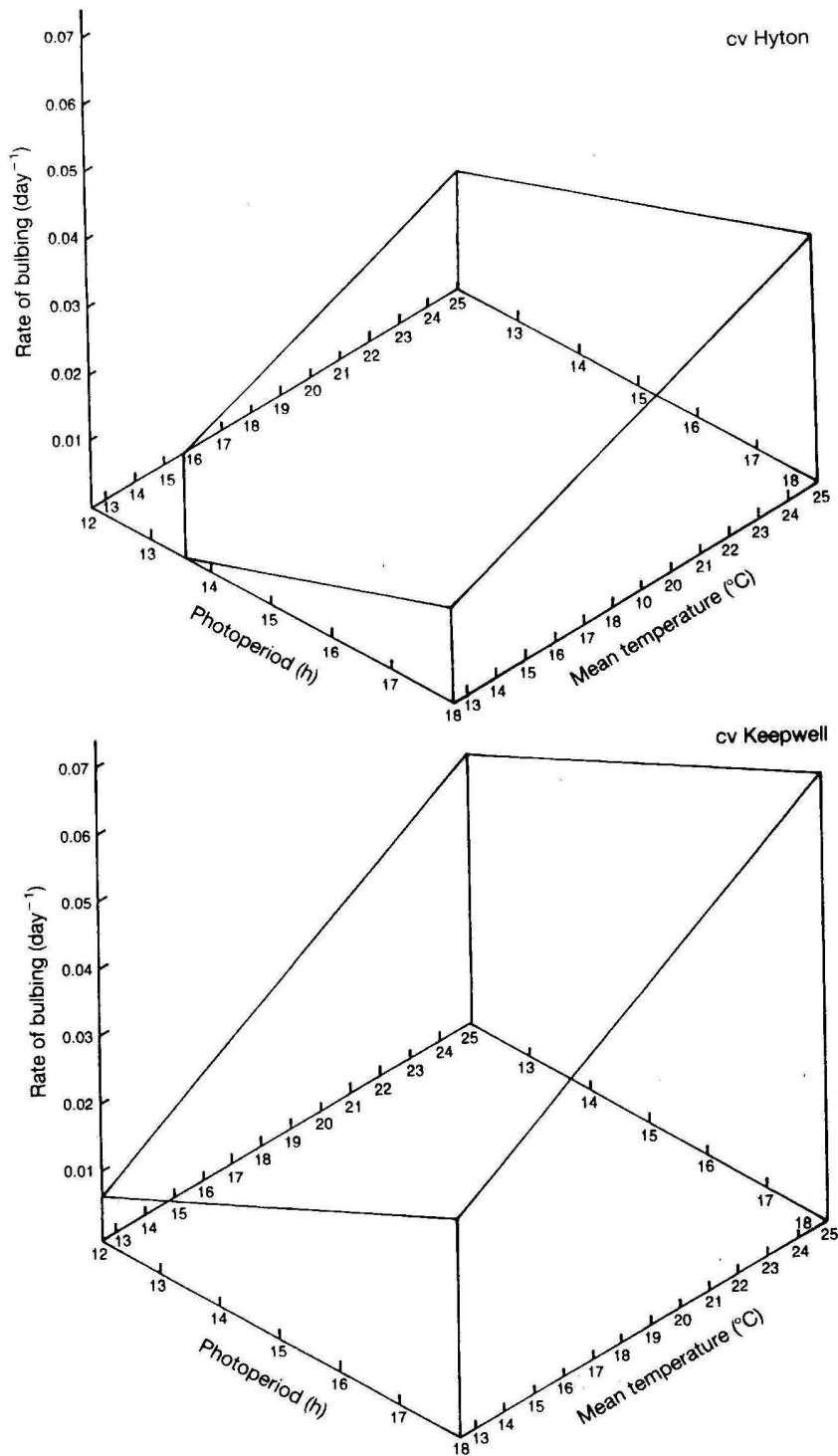


Figura 10. Tasa de bulbificación (días⁻¹) en función de la temperatura y el fotoperíodo en dos cultivares de cebolla (Hyton y Keepwell). Los tratamientos consistieron en combinaciones de temperatura (entre 13 y 25 °C) y fotoperíodo (entre 12 y 18 horas). Las plantas fueron mantenidas en condiciones constantes y se evaluó el tiempo entre el inicio del tratamiento y el inicio de la bulbificación (Brewster, 1994).

Cuadro 4. Efecto de la disponibilidad de N en el inicio de la bulbificación ejemplificado por el valor del índice de bulbificación a través del tiempo para distintos tratamientos de déficit de N. (IB > 2, bulbificación iniciada)

Tratamientos	30Jun	14Jul	28Jul	11Ago	26Ago	8Sep
5 %	1.63	1.95	2.25	2.45	2.54	2.58
20 %	1.49	1.76	2.17	2.41	2.48	2.77
40 %	1.53	1.44	1.91	2.52	2.64	3.00
100 %	1.36	1.46	1.82	2.60	2.89	3.36

Los datos son promedios de 3 fotoperíodos
 100 % N = 12 mol. ml⁻³ NO₃
 Brewster y Butler, 1989.

Cuadro 5. Efecto de la disponibilidad de N en el inicio de la bulbificación ejemplificado por el valor del índice de bulbificación, partición de la materia seca entre bulbo y láminas y nº de hojas verdes en dos fechas cercanas al inicio de la bulbificación para la variedad estudiada.

Nitrógeno (kg/ha)	Índice de bulbificación		Partición en MS bulbo/láminas		Nro de hojas verdes	
	12Jul	26Jul	12Jul	26Jul	12Jul	26Jul
100	2.3	3.4	0.58	0.77	4.76	4.22
500	1.8	3.1	0.51	0.72	5.03	4.62
LSD	0.4	0.3	0.05	0.07	0.20	0.18

Brewster, Lawes y Whitlock, 1987.

El bulbo es un órgano de resistencia de la planta a condiciones adversas. La falta de N o de agua frenan la expansión del área foliar y si el fotoperíodo está en valores cercanos al crítico para la variedad, estas condiciones pueden acelerar la entrada en bulbificación favoreciendo la translocación de asimilados hacia las vainas por disminución de la fuerza de fosa de las láminas en crecimiento (Cuadros 4 y 5). Otra muestra de esta adaptación de la cebolla a la resistencia a condiciones adversas es la sensibilidad a la calidad de la luz. Se ha observado que cuando la **relación Rojo/Infra Rojo** disminuye, se adelanta el inicio de la bulbificación (Cuadro 6). Esta es una forma de la planta de percibir la competencia de plantas vecinas de su misma especie o de otras especies. Dada la poca habilidad competitiva de la cebolla su estrategia frente a la competencia es la resistencia, representada a través del mecanismo de bulbificación. Entonces, esta disminución en los requerimientos de FPC frente a cambios en

la calidad de luz, indicadores de la presencia de competidores, es la estrategia de la planta de cebolla de resistir o escapar a esa competencia adelantando la formación del bulbo.

Cuadro 6. Efecto de la calidad de la luz incidente (relación Rojo/Infra Rojo) en el inicio de la bulbificación en cebolla. Las variaciones en localización de la luz se crearon mediante tratamientos de sombreado por hojas de cebollas de mayor tamaño o por hojas de zanahorias (Brewster, 1994)

Tratamiento	Inicio de la bulbificación (1° enero = 1)	Luz incidente interceptada por la canopía (%)	R:IR debajo de la canopía / R:IR arriba de la canopía
Sin sombra	230	14	0.94
Sombreadas por cebollas más grandes	207	66	0.52
Sombreadas por zanahorias	202	61	0.40
ESD (gl=4)	2.7	3.1	0.07

Finalmente, el tamaño y edad de la planta también tienen efecto en la bulbificación. Cuanto más grandes y/o más avanzado el desarrollo de la planta (más 'viejas'), menor es el FPc necesario para iniciar la bulbificación (Brewster, 1990).

4.7. La floración en cebolla

El pasaje de la fase vegetativa a la reproductiva en cebolla está determinado por el fenómeno de **vernalización** o acumulación de determinadas 'horas de frío'. La cebolla tiene una fase juvenil durante la cual la planta no puede ser inducida a florecer. Hay un mínimo de peso o número de hojas que la planta debe superar para ser sensible a las bajas temperaturas que inducen el pasaje a la fase reproductiva. Este tamaño mínimo depende de la variedad y varía entre 5 y 10 hojas iniciadas (0.06 a 0.45g de peso seco). Lo mismo ocurre con los bulbos, siendo necesarios solo 20-30 días a temperaturas inductivas (aproximadamente 9°C) en bulbos de más de 50g, pero en pequeños bulbos de 5g se necesitan 80 días a la misma temperatura (Brewster, 1994).

La temperatura necesaria para inducir la floración en cebolla ha sido estudiada para muchas variedades y los resultados combinados se muestran en la Figura 11 (Brewster, 1987). El rango de temperatura óptima para la inducción floral va entre 8 y 12°C. Temperaturas de 28 a 31°C aplicadas a plantas o bulbos recientemente inducidos pueden revertir el proceso de vernalización (Brewster, 1994). Se ha observado que los primordios florales pueden ser destruidos en sus etapas iniciales de formación si las condiciones del ambiente favorecen la bulbificación. Por lo tanto existe un período de competencia entre la floración y la bulbificación (Kampen, 1970).

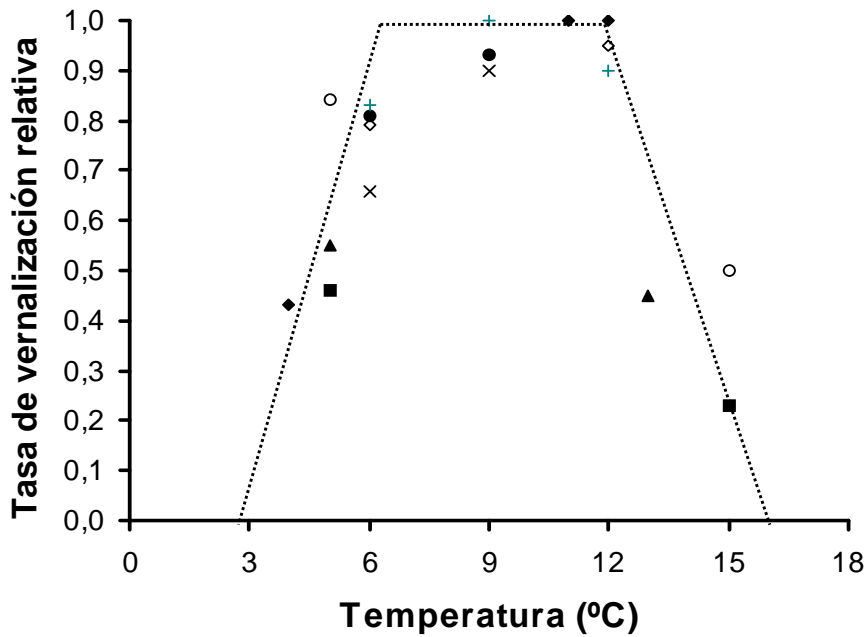


Figura 11. Tasa de vernalización relativa en función de la temperatura para variedades de cebolla europeas y japonesas. Diferentes símbolos representan diferentes experimentos (Brewster, 1987).

Una vez que un primordio floral ha sido formado en forma completa dentro del bulbo, la tasa de elongación del escapo depende de la temperatura y el fotoperíodo. Las condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de la inflorescencia una vez iniciada son temperaturas frescas (10-15°C) y fotoperíodos largos (Figura 12).

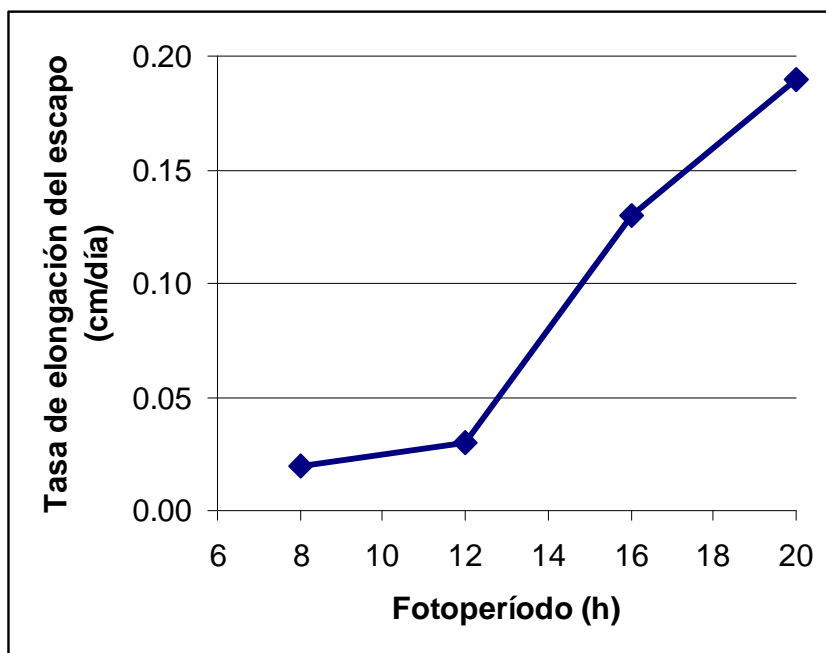


Figura 12. Tasa de elongación del escapo floral en función del fotoperíodo, luego de la vernalización. La información es promedio de los cultivares Senshyu y Rijnsburger (Brewster, 1983).

4.8. Algunos factores del manejo y su efecto en el rendimiento del cultivo de cebolla

7.1 Fecha de siembra y trasplante

Se ha observado que en la medida que se atrasa la fecha de siembra, el rendimiento del cultivo tiende a disminuir, mientras que las fechas de inicio de la bulbificación y de maduración del bulbo se atrasan menos que la fecha de siembra, reduciéndose el largo total del ciclo. En el Cuadro 7 se presentan resultados obtenidos con el cultivar Pantanoso CRS en el Sur de Uruguay (Arias y Peluffo, 2001). Se observa una reducción a la mitad del rendimiento con un atraso de 37 días en la fecha de siembra. La duración del período desde siembra a IB se redujo de 208 días en la primera fecha a 178 días en la última. En la Figura 12 se muestra como afectó el atraso en la fecha de siembra al crecimiento del área foliar del cultivo. Al efecto del menor número de días para la aparición y crecimiento de hojas se le agrega el efecto de la temperatura, que disminuye hacia el invierno. Por lo tanto, la suma térmica previa al inicio de la bulbificación es mucho mayor para la primera fecha de siembra que para la última, lo cual aumenta la diferencia en desarrollo y crecimiento de hojas. Recordemos que el momento de inicio de la bulbificación está determinado por el fotoperíodo y que una vez iniciada la bulbificación no hay más crecimiento del área foliar. En consecuencia, la explicación de la enorme diferencia en rendimiento entre la primera y última fecha de siembra de este experimento no es otra que una mayor cantidad de radiación interceptada por el cultivo en el período de bulbificación debido a mayor IAF que resultó en mayor TAN y por lo tanto mayor TC del bulbo.

Cuadro 7. Efecto de la fecha de siembra en el ciclo de desarrollo y en el rendimiento comercial del cultivar Pantanoso CRS (Tesis Arias y Peluffo, 2001).

Tratamientos	Inicio de bulbificación	Madurez o Cosecha	Rendimiento comercial (miles de kg/ha)
Abril 3	Oct 27	Dic 8	38.9
Abril 22	Nov 6	Dic 18	32.6
Mayo 10	Nov 13	Dic 29	19.2

La pregunta obvia que surge de ver esta información experimental es si una siembra más temprana aún (anterior al 3 de abril) no podría incrementar el rendimiento potencial. Para contestar esto presentamos algunos resultados experimentales obtenidos en la EELB de INIA con el cultivar Texas Early Grano 502 (Cuadro 8). Aquí se observa que el rendimiento obtenido en la primera fecha de siembra (21 de marzo) fue significativamente menor que en la segunda (8 de abril), debido a la ocurrencia de un porcentaje importante (17 a 44%) de floración prematura ('bolting'). Cuando nuestro objetivo es la producción de bulbos, el pasaje anticipado al estado reproductivo ocasiona pérdida de rendimiento ya que la floración y la bulbificación son procesos competitivos y las plantas que florecen no forman bulbos comerciales.

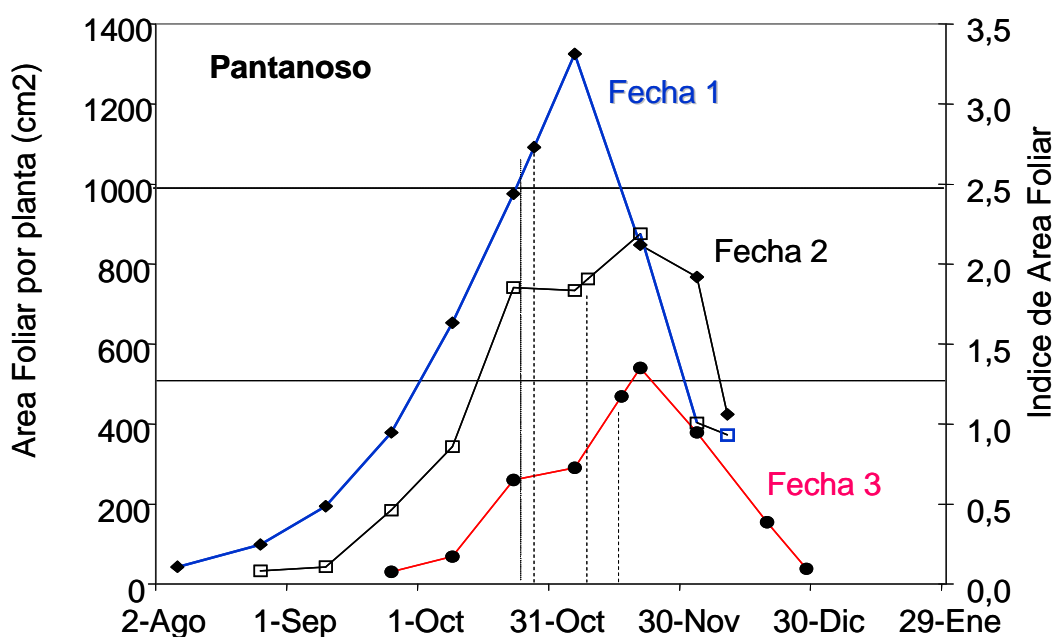


Figura 12. Evolución del área foliar por planta en función del tiempo para tres épocas de siembra en cebolla del cultivar Pantanoso del Sauce – CRS. Las líneas punteadas indican el inicio de la bulbificación para cada tratamiento. Los datos se presentan desde trasplante (Arias y Peluffo, 2001).

Cuadro 8. Efecto de la fecha de siembra y duración del período de almácigo en el rendimiento comercial y porcentaje de floración prematura en cebolla cv. Texas Early Grano 502 (Arboleya et al., 1984).

Fecha de Almácigo	Días en almácigo	Porcentaje de floración	Rendimiento (miles kg/ha)
21 Marzo	80	44.3	23.5 b
	100	27.0	29.9 b
	120	17.2	19.4 bc
8 Abril	80	3.5	43.3 a
	100	0	28.2 b
	120	0	27.9 b
2 Mayo	80	0	27.2 b
	100	0	22.3 b
	120	0	11.0 c

Estación Experimental Las Brujas (Canelones), 1984

La explicación del alto porcentaje de 'bolting' en la primera fecha de siembra es que las plantas habían superado su fase juvenil (insensible a las bajas temperaturas inductivas) cuando ingresaron en el invierno y por lo tanto un porcentaje importante de ellas fue capaz de acumular las horas de frío necesarias para pasar al estado reproductivo.

Cada variedad tiene requerimientos específicos de fotoperíodo para bulbificar y también sensibilidad diferente a la floración prematura. Por lo tanto las fechas de siembra y trasplante óptimas para cada variedad deben ser evaluadas por varios años en cada localidad.

7.2 Densidad y marco de plantación

Por densidad de plantación nos referimos al número de plantas por unidad de superficie y por marco de plantación nos referimos al arreglo espacial de esas plantas, o sea la distancia promedio entre plantas y entre filas. En las siguientes fotos se observa diferentes marcos de plantación y densidades utilizados comúnmente en Uruguay. Desde canteros a fila simple, permitiendo densidades de plantación de 120 a 200 mil plantas por ha, hasta canteros de 5 filas con densidades de 280 a 350 mil plantas por ha.



La densidad de plantación es una variable que afecta directamente el IAF al inicio de la bulbificación. Mayor densidad permite alcanzar un mayor IAF a IB. Además del tiempo y la suma térmica por encima de 1.4 °C que se acumule entre siembra e inicio de bulbificación, la densidad es la otra variable fundamental que define el valor de IAF en el IB.

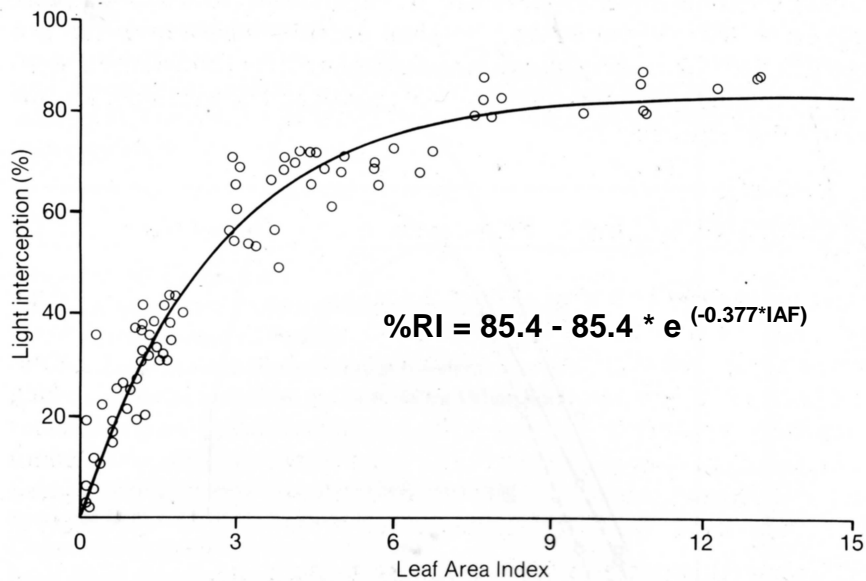


Figura 13. Porcentaje de la luz incidente interceptada por un cultivo de cebolla en función del IAF (Brewster, 1994).

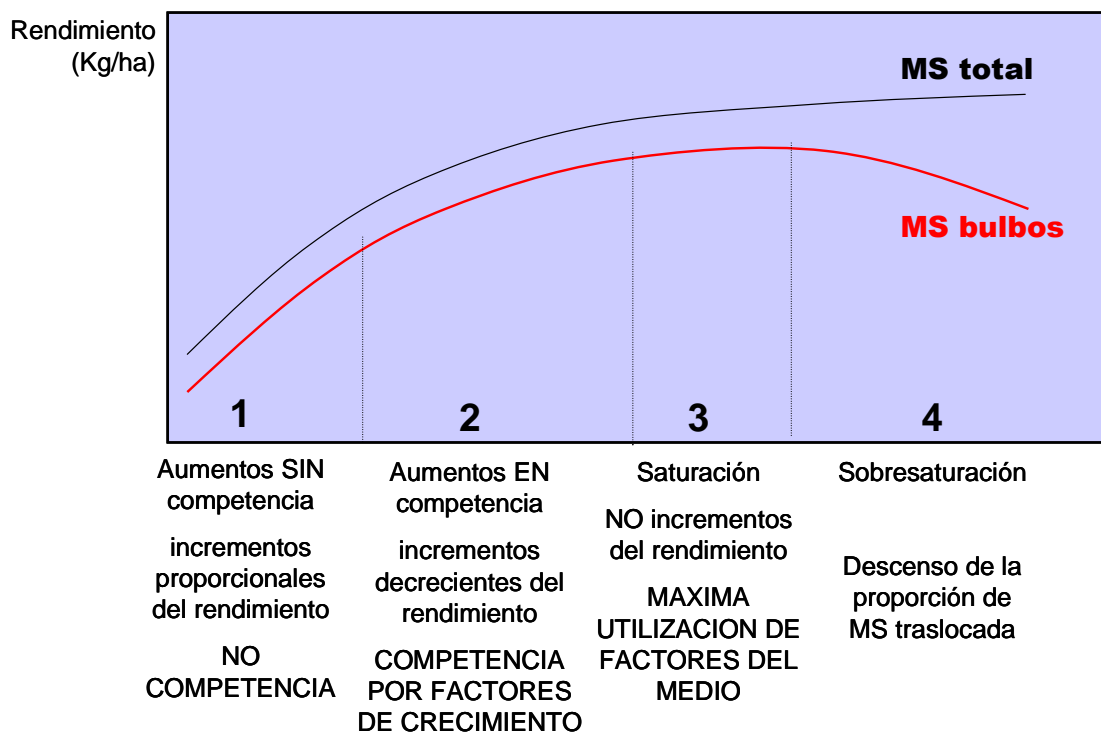


Figura 14. Esquema teórico del efecto de la densidad sobre el rendimiento

Analizando en forma teórica la relación entre densidad de plantación y rendimiento en cualquier cultivo (Figura 14), tenemos una primera zona de crecimiento sin competencia en la cual el aumento del rendimiento es proporcional al aumento de la densidad. También tenemos una tercera zona o zona de saturación en la cuál no hay respuesta del rendimiento a la densidad. En la zona dos o de crecimiento en competencia, el rendimiento aumenta con la densidad pero con incrementos decrecientes. Esta es la zona en la cual nos movemos

racionalmente cuando tratamos de decidir cual es la densidad de siembra más conveniente para un cultivo en un ambiente físico y económico determinado. Para tomar esta decisión además del rendimiento total se debe tener en cuenta los costos de producción y la calidad del producto final, entre otras cosas.

Pero la densidad no puede analizarse en forma aislada del marco de plantación, y por lo tanto necesitamos introducir aquí el concepto de 'rectangularidad'. La rectangularidad es la relación que existe entre la distancia entre filas y la distancia entre plantas en la fila:

Rectangularidad = Distancia entre filas / Distancia entre plantas en la fila

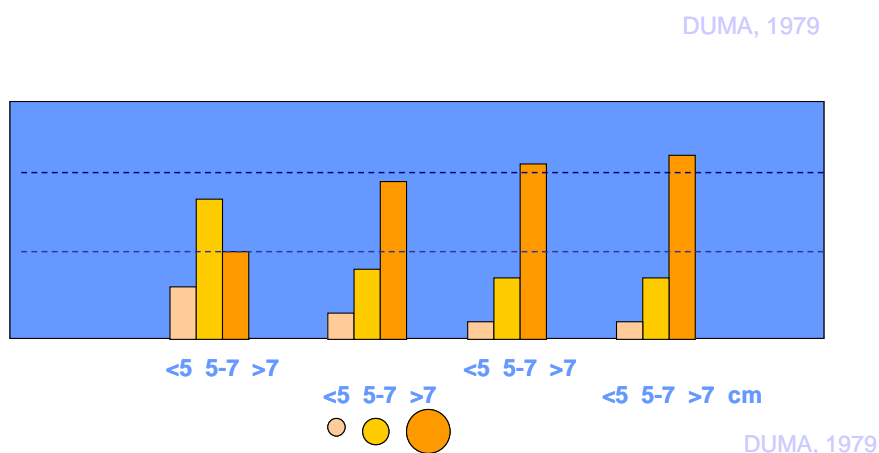
A una misma densidad, la competencia entre plantas es más intensa cuando la rectangularidad es más alta que cuando es más baja, y por lo tanto esto afecta fuertemente la respuesta del rendimiento a la densidad de plantación, como puede verse en los resultados experimentos de la DUMA mostrados en el Cuadro 9 y en las figuras 15 y 16. En estos experimentos, el aumentar la densidad por aumento de la rectangularidad provocó una fuerte disminución del tamaño promedio de bulbos, afectando la calidad del producto.

Cuadro 9 y Figura 15.- Efecto de la densidad en el rendimiento y calidad (diámetro promedio de bulbo) de cebolla bajo riego y en seco. La densidad se varió ajustando la distancia entre plantas en la fila, manteniendo la distancia entre filas constante (40 cm) (DUMA, 1979).

Rendimiento según densidad (miles kg/ha)

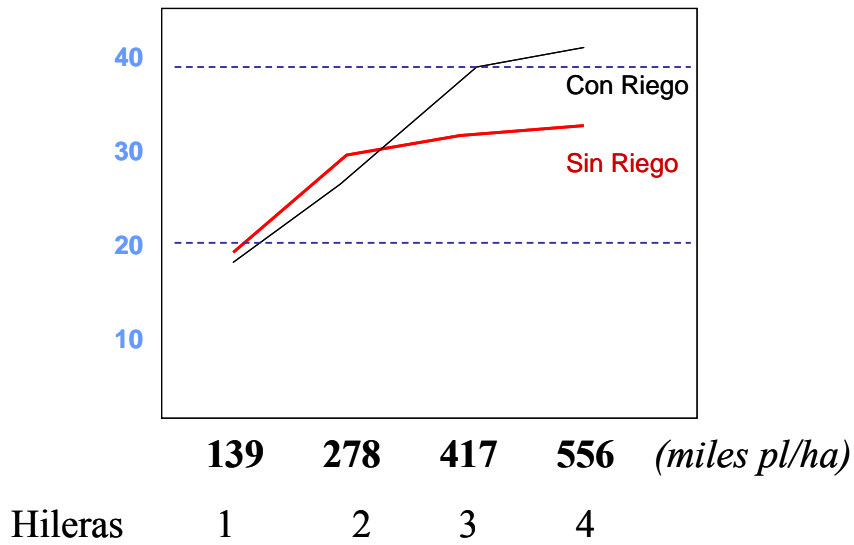
Filas a 40 cm, con variación de la distancia en la fila

Distancia	6 cm	8 cm	10 cm	12 cm	Promedio
Densidad	417	313	250	208	(miles pl/ha)
Regado	66	74	64	62	67 NS
Secano	4	7	5	8	6 NS



Rendimiento según densidad (miles kg/ha)

Plantas a 10 cm, y se agregan hileras (cada 10 cm)



DUMA, 1985

Figura 16.- Efecto de la densidad en el rendimiento de cebolla bajo riego y en seco. La densidad se varió ajustando la distancia entre filas, manteniendo la distancia entre plantas en la fila constante (10 cm) (DUMA, 1979).

4.9. Referencias Bibliográficas

Arboleya, J.E.; Villamil, J.M; Itoh, M., 1986. Efecto de la fecha de plantación de bulbos de cebolla sobre el rendimiento y la calidad de la semilla. En: Investigaciones Agronómicas. N°7 MGAP, Uruguay, pp 22-30.

Arias A., Peluffo, S. 2001. Crecimiento y rendimiento de tres cultivares de cebolla (*Allium cepa L*) de diferente ciclo en diferentes localidades y fechas de siembra. Tesis. Facultad de Agronomía. UdelaR. Uruguay.

Brewster, J.L. 1983. Effects of photoperiod, nitrogen nutrition and temperature on inflorescence initiation and development in onion (*Allium cepa L.*). *Annals of Botany* 51, 429–440.

Brewster, J.L. 1987. Vernalization in the onion – a quantitative approach. In: Atherton, J.G. (ed.) *The Manipulation of Flowering*. Butterworths, London, pp. 171–183.

Brewster, J.L. 1990a. Physiology of crop growth and bulbing. In: Rabinowitch, H.D. and Brewster, J.L. (eds). *Onions and Allied Crops*, Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 53–88.

Brewster, J.L. 1990b. Cultural systems and agronomic practices in temperate climates. In: Rabinowitch, H.D. and Brewster, J.L. (eds) *Onions and Allied Crops*, Vol. 2. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 1–30.

Brewster, J.L. 1990c. The influence of cultural and environmental factors on the time of maturity of bulb onion crops. *Acta Horticulturae* 267, 289–296.

Brewster, J.L. 1994. *Onions and other vegetable alliums*. Wallingford. CAB. 236p.

de Mason, D.A. 1990. Morphology and anatomy of *Allium*. In: Rabinowitch, H.D. and Brewster, J.L. (eds). *Onions and Allied Crops*, Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 27–51.

Garner, W. y Allard H.A. 1923. Further studies in photoperiodism, the response of the plant to the relative length of day and night, *J. Agric. Res.* 23 pp. 871–919.

Jones, H.A; Mann, L.K. 1963. *Onions and their allies*. New York, Interscience publisher. 226 p.

MGAP-DUMA, 1979. Efecto del riego y la población de plantas sobre la producción y calidad del cultivo de cebolla (*Allium cepa L.*). Serie: El agua en la agricultura del Uruguay. Boletín N°3. 20p.

5. Ejercicios Teórico-Prácticos

Ejercicio 1

- a) ¿Qué entiende por Fuerza de Fosa de un órgano vegetal?
- b) En un cultivo de tomate, ¿qué cantidad de asimilados será traslocada hacia los frutos si:
- la Asimilación Neta es de $15 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1}$
 - la Fuerza de Fosa vegetativa es de $8 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1}$
 - la Fuerza de Fosa reproductiva (todos los frutos) es de $12 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1}$
- c) ¿Cuál es la relación Fuente/Fosa en ese caso?
- d) Indique cuál o cuáles de los siguientes procesos se verían afectados si aumentamos la Fuerza de Fosa de los Frutos manteniendo constante la Fuerza de Fosa vegetativa y la Asimilación Neta:

Marque (X) dónde corresponda

Proceso	SÍ Afectado	NO Afectado
Tasa de desarrollo (velocidad de aparición de nuevas hojas y racimos)		
Producción total de Materia Seca (crecimiento total de la planta)		
Crecimiento total de los frutos		
Crecimiento total de los órganos vegetativos		
Partición de la materia seca a los frutos (índice de cosecha)		

Ejercicio 2

Para un cultivo de papa sembrado en el Dpto. de Rocha el 20 de diciembre se espera una duración de ciclo de 135 días, mientras que para un cultivo sembrado en el Dpto. de Canelones el 1º de febrero se espera un ciclo de 105 días.

- a) ¿Cuál cultivo tiene mayor potencial de rendimiento (agua y nutrientes no limitantes)?
- b) ¿En cuál se justifica una mayor aplicación de Nitrógeno?
- c) ¿Cuál sembraría Ud. a mayor densidad?

Explique brevemente sus respuestas.

Ejercicio 3

En el cultivo de cebolla se obtuvo la siguiente respuesta en el ciclo y en el rendimiento en función de la época de siembra:

Fecha de siembra	Inicio bulbificación	Madurez cosecha	Rendimiento (ton/ha)
15 de abril	4 oct.	18 nov.	45.5
25 de mayo	10 oct.	21 nov.	35.5
2 de julio	14 oct.	23 nov.	20.8

- a) Explique a que se debe que cultivos sembrados a intervalos de más de 1 mes inicien la bulbificación y maduren casi al mismo tiempo.
- b) La formación del rendimiento del cultivo de cebolla puede descomponerse de la siguiente manera:

$$\text{Rendimiento (kg/ha)} = \text{Tasa crecimiento bulbos (kg/ha.d)} * \text{duración bulbificación (d)}$$

Si los tres cultivos se sembraron a la misma densidad. ¿A qué factor se debe la diferencia en rendimiento entre las tres fechas de siembra? Explique.

- c) Utilizando el concepto de composición del rendimiento descrito en **b)** analice cual sería el efecto en el rendimiento (de cualquiera de las tres fechas de siembra) de una primavera más fría, en promedio, de la que se realizó el experimento.

Ejercicio 4

En un experimento se cultivaron plantas de tomate en idénticas condiciones de manejo y a 19°C. Cuando las plantas ya tenían varios racimos cuajados se dividieron en dos tratamientos. Un grupo se mantuvo a 19°C y otro grupo se mantuvo durante 2 semanas a 23°C. A continuación se presenta el incremento de materia seca de distintas partes de la planta durante esas 2 semanas:

Incremento de la materia seca de plantas de tomate cultivadas a 19°C y expuestas durante 2 semanas a temperaturas de 19 y 23°C (de Koning, 1994)

Parámetros	19 °C	23 °C	Significancia
Crecimiento frutos (g planta ⁻¹)	36.0	41.0	**
Crecimiento hojas y tallos (g planta ⁻¹)	17.5	10.0	**
Crecimiento Total (g planta ⁻¹)	53.5	51.0	NS
Partición de Materia Seca a los frutos (%)	67.3	80.4	**

- a) Se observaron diferencias significativas entre tratamientos en el crecimiento de los frutos, en el crecimiento vegetativo y en la partición de materia seca a los frutos (índice de cosecha), pero no en el crecimiento total. Explique los resultados obtenidos basándose en los conceptos de Fuerza de Fuente y Fuerza de Fosa.
- b) ¿En cuál de los tratamientos de temperatura fue más baja la relación Fuente/Fosa y en cuál fue menor el cuajado de nuevos frutos? Explique.

Ejercicio 5

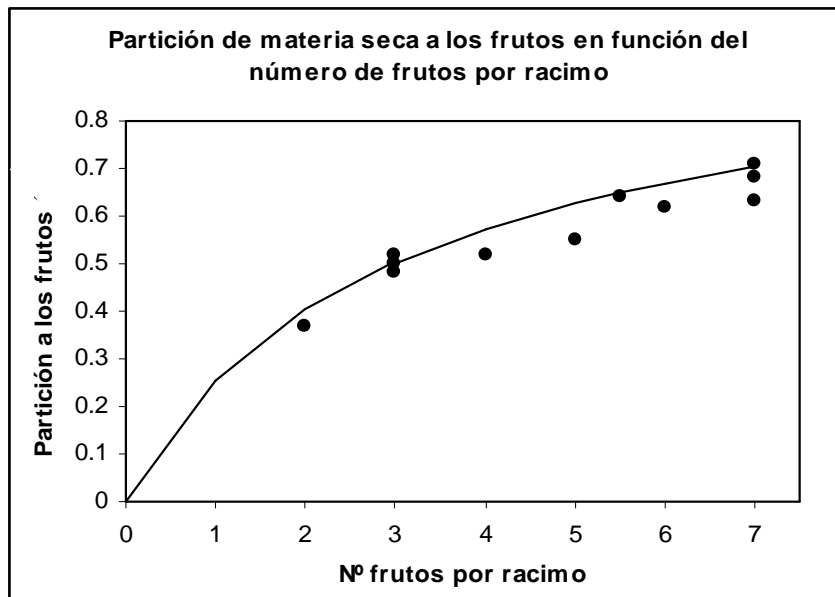
Dos variedades de cebolla se sembraron contiguas en la misma fecha. Texas Early inició la bulbificación el 15 de octubre con una temperatura media de 17°C durante la bulbificación. En tanto, Pantanoso CRS prolongó su desarrollo foliar e inició la bulbificación el 15 de Noviembre con una temperatura media de 21°C durante la bulbificación.

- (a) ¿A qué se deben las diferencias en inicio de bulbificación entre cultivares?
- (b) Suponiendo que no existen limitantes de agua y nutrientes, y que las diferencias en radiación incidente no son significativas para este cultivo, ¿existirán diferencias en la tasa de crecimiento de los bulbos y en la duración del período de bulbificación entre ambos cultivares? Fundamente su respuesta.

Ejercicio 6

En una serie de experimentos de raleo de frutos en tomate se obtuvo la siguiente relación entre el número de frutos por racimo y la partición de materia seca a los frutos (Índice de Cosecha) (ver gráfica).

- a) ¿Cómo explica usted el efecto del número de frutos por racimo en la partición de asimilados a los frutos?



- b) ¿Cuál sería el efecto de un período de gran cuajado de frutos por racimo (no controlado por raleo), en el cuajado de frutos en futuros racimos? Explique.
- c) De estos experimentos se puede calcular que la fuerza de fosa promedio de un fruto es un tercio de la fuerza de fosa promedio de una unidad vegetativa (simpodio): porción de tallo + 3 hojas entre dos racimos consecutivos. Basándose en esta relación, ¿cuál sería la partición a los frutos (%) si dejáramos sólo 3 frutos por racimo y cuál si dejáramos 5 frutos por racimo?

Ejercicio 7

Un productor de papa de Rincón del Pino (San José), tenía planificado sembrar su cultivo de otoño alrededor del 15 de enero, pero por razones climáticas se atrasó en la preparación del suelo y va a sembrar alrededor del 10 de febrero. Por esta razón el largo del ciclo del cultivo (emergencia – senescencia) antes de las primeras heladas probables se le reduce de 115 a 90 días. ¿Cuál de los siguientes cambios en su plan original de fertilización con N y densidad de plantación le recomendaría Ud.? (Elija solo uno). Fundamente su respuesta.

1. Mayor fert N y mayor densidad	4. Menor fert N y mayor densidad	7. Igual fert N y mayor densidad
2. Mayor fert N y menor densidad	5. Menor fert N y menor densidad	8. Igual fert N y menor densidad
3. Mayor fert N e igual densidad	6. Menor fert N e igual densidad	9. Igual fert N e igual densidad

Ejercicio 8

- a) Para el cultivo de cebolla, indicar qué condiciones del ambiente favorecen la entrada en bulbificación (encerrar en un círculo las palabras):

Fotoperíodo	Largo	Corto
Relación Rojo : Rojo Lejano	Alta	Baja
Disponibilidad de Nitrógeno	Alta	Baja
Temperatura	Alta	Baja

- b) Vincular los siguientes elementos que componen el rendimiento del cultivo mediante un esquema relacional o mediante operaciones aritméticas:

Tasa de asimilación bruta (TAB)	(kg CH ₂ O / planta . día)
Rendimiento de bulbo (R)	(kg / ha)
Duración de la bulbificación (DB)	(días)
Densidad (D)	(plantas / ha)
Índice de conversión de glucosa a MS bulbo (I)	(kg bulbo / kg CH ₂ O)
Peso final de cada bulbo (PB)	(kg / planta)
Tasa de crecimiento del bulbo (TC)	(kg / planta . día)
Tasa de asimilación neta (TAN)	(kg CH ₂ O / planta . día)
Respiración de mantenimiento (RM)	(kg CH ₂ O / planta . día)

- c) En un ensayo para comparar el comportamiento de 2 cultivares, estos se sembraron y trasplantaron en las mismas fechas a densidad, fertilización y demás factores de manejo también iguales. El cultivar Texas empezó a bulbificar el 7 de octubre y el cultivar Valcatorce el 12 de Noviembre.

c.1) ¿a qué se deben las diferencias en las fechas de inicio de bulbificación?

c.2) ¿en cuál variedad espera Ud. que sea mayor la tasa de crecimiento del bulbo?

Explique.

Ejercicio 9

- a) La cantidad de radiación incidente y la temperatura interactúan para determinar el momento de diferenciación del primer racimo floral en la planta de tomate. Ordena las siguientes situaciones del 1 al 4 de acuerdo a la rapidez con que se logra la diferenciación del primer racimo (1 + rápido; 4 + lento):

Baja Radiación incidente y Temperatura media 15 °C _____

Baja Radiación incidente y Temperatura media 25 °C _____

Alta Radiación incidente y Temperatura media 25 °C _____

Alta Radiación incidente y Temperatura media 15 °C _____

- b) En un experimento de tomate se probaron tres densidades de siembra distintas. El manejo del cultivo fue igual para las tres densidades y no se realizó raleo de frutos. Indique cómo cambiaron las siguientes variables del cultivo al aumentar la densidad de siembra (**mayor, menor o igual**):

Tasa de desarrollo (velocidad de aparición de hojas y racimos)	
Tasa de crecimiento total por unidad de superficie (kg MS / m ²)	
Porcentaje de cuajado de flores en frutos	
Partición de materia seca a los frutos (índice de cosecha)	
Fuerza de fosa vegetativa por unidad de superficie	

- c) Si sabemos que un simpodio (unidad vegetativa básica de la planta de tomate) tiene una fuerza de fosa promedio tres veces más grande que la de un fruto. ¿Cuál será la partición de materia seca a los frutos, cuando la planta ha alcanzado su estado de partición estable, si todos los racimos tienen 4 frutos o si todos tienen 6 frutos?

Ejercicio 10

- a) Describa brevemente las tres fases en que podemos dividir el ciclo del cultivo de papa.
 b) Explique cómo y por qué la duración de la primera fase afecta la duración de todo el ciclo

- c) Explique brevemente cómo los siguientes factores afectan la duración de la primera fase:
- Fotoperíodo
 - Temperatura
 - Disponibilidad de N

Ejercicio 11

- (a) Dos cultivos de cebolla se sembraron en la misma fecha, en las mismas condiciones de crecimiento. El cultivar Primavera inició la bulbificación el 25 de octubre y Valcatorce el 5 de diciembre. Calcule los rendimientos a partir de los datos del cuadro.

Cultivar	Fecha Bulbificación	Rto (kg/ha)	Duración de la bulb.(d)	TC (kg MS/ha.d)	TAN (kg CH ₂ O/ha.día)	RM (kg CH ₂ O/ha.día)	TAB (kg CH ₂ O/ha.d)
Primavera	25 octubre		35			60	200
Val14	5 diciembre		30			80	280

Eficiencia de conversión de CH₂O en MS: 0.7 kg MS / kg CH₂O

Contenido de materia seca de los bulbos: 10%

TAN: Tasa de Asimilación Neta

TAB: Tasa de Asimilación Bruta

RM: Respiración de Mantenimiento

- (b) Mencione el/los factor(es) que puedan explicar las diferencias observadas en:

Fecha de bulbificación	
Duración de la bulbificación	
Respiración de mantenimiento	
Tasa de Asimilación Bruta	

Ejercicio 12

- a) Para un cultivo de papa indicar que condiciones favorecen el inicio de la tuberización (Fase 1 del cultivo más corta), encerrar en un círculo las palabras:

Radiación incidente	Alta	Baja	
Temperatura	12 – 14 °C	18 – 20 °C	26 – 28 °C
Densidad de siembra	Alta	Baja	
Fotoperíodo	Largo	Corto	
Disponibilidad de N	Alta	Baja	
Estado fisiológico de la semilla	Brotación apical	Brotación múltiple	

- b) ¿Cómo influye la duración del período desde emergencia a inicio de tuberización en el largo total del ciclo y en el rendimiento del cultivo? Explique.

- c) El índice de cosecha de la papa en situaciones normales es de alrededor del 80%.
¿Qué factores del ambiente o del manejo podrían haber causado que el índice de cosecha en un cultivo de verano - otoño en San José fuera de tan solo 60%?

Ejercicio 13

Un cultivo de tomate bajo invernáculo en el Sur de Uruguay pasa de crecer a temperatura promedio de 18 °C a principios de Noviembre a crecer a temperatura promedio de 25 °C a fines de enero. En el siguiente cuadro se presentan los valores de asimilación bruta y respiración de mantenimiento en ambas fechas:

	Asimilación bruta (g CH ₂ O.m ⁻² .d ⁻¹)	Respiración mantenimiento (g CH ₂ O.m ⁻² .d ⁻¹)
Inicios de Noviembre	42	16
Fines de enero	47	27

- a) Complete el siguiente cuadro indicando como cambian los siguientes factores del cultivo de Noviembre a enero (use los términos: **umenta, disminuye o igual**):

Tasa de crecimiento total	
Tasa de desarrollo	
Fuerza de fosa vegetativa	
Fuerza de fosa de todos los frutos	
Relación fuente/fosa	
Duración del período antesis - maduración del fruto	
Porcentaje de cuajado	
Tamaño promedio de fruto cosechado	

- b) Para el 25 de enero la fuerza de fosa vegetativa es de 15 g CH₂O.m⁻².d⁻¹ y la fuerza de fosa de todos los frutos es de 30 g CH₂O.m⁻².d⁻¹. ¿Qué cantidad de asimilados será destinada al crecimiento de los frutos y cuál es la relación fuente fosa? Explique brevemente sus cálculos.

Ejercicio 14

En nuestro país un productor cultiva papa en dos zonas distintas de producción. En la zona de Rocha el cultivo tiene un largo de ciclo de 140 días y en Canelones de 110 días desde emergencia a senescencia del follaje. Asumiendo que el suelo en ambas zonas aporta una cantidad similar de nutrientes y que ambos cultivos se riegan para evitar déficit de agua, conteste las siguientes preguntas del productor:

- a) ¿En cuál de las dos zonas se debe aportar más nitrógeno como fertilizante? Explique
b) ¿La densidad de siembra debe ser la misma en ambas zonas o no? Explique
c) El productor dispone de dos lotes de tubérculos semilla de la misma variedad, un lote está en el estado de brotación apical y el otro está en brotación múltiple. ¿Cuál debe plantar en cada zona? Explique.

Ejercicio 15

El raleo de frutos en tomate es una práctica de manejo que permite favorecer la obtención de frutos de mayor tamaño y una producción más regular en el tiempo. En un cultivo de

tomate en el cual ya se ha iniciado la cosecha, la tasa de asimilación neta diaria es de 20 g $\text{CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Sabiendo que la relación que hay entre la fuerza de fosa de una unidad vegetativa (simpodio) y la de un fruto es de 3 a 1, calcule:

- a) La proporción de asimilados destinados a los frutos cuando dejo 3 frutos por racimo y cuando dejo 5 frutos por racimo.
- b) La cantidad de asimilados destinada al crecimiento vegetativo.

Ejercicio 16

En un experimento de tomate se probaron tres densidades de siembra distintas 1.2, 2.4 y 4.8 plantas por m^2 . El manejo del cultivo fue igual para las tres densidades y no se realizó raleo de frutos. El IAF máximo alcanzado fue de 3, 3.5 y 4 para la densidad baja, intermedia y alta, respectivamente.

- 1) Explique cuál puede haber sido el efecto de la densidad en la tasa de desarrollo y en la tasa de crecimiento del cultivo.
- 2) Explique cuál puede haber sido el efecto de la densidad en el porcentaje de cuajado de flores ((flores cuajadas / flores totales) * 100) y en la partición de la materia seca a los frutos o índice de cosecha.

Ejercicio 17

Relacione los siguientes factores con flechas en un diagrama o con operaciones que muestren la formación del rendimiento en el cultivo de tomate:

Rendimiento (g MS/ m^2)

Tasa de asimilación neta (g $\text{CH}_2\text{O}/\text{día}$)

Tamaño promedio de fruto (g MS)

Número de frutos por m^2 (#/ m^2)

Tasa de crecimiento promedio de fruto (g MS/ día)

Duración del período de crecimiento de fruto (días)

Densidad (plantas/ m^2)

Número de frutos por planta (#/planta)

Porcentaje de los asimilados disponibles destinados en promedio a cada fruto (%)

Asimilados requeridos para formar 1g de fruto (g $\text{CH}_2\text{O}/\text{g MS}$)

Ejercicio 18

Se instalaron dos cultivos de papa en un ciclo de verano - otoño. Ambos se sembraron el 1º de febrero y emergieron el 15 del mismo mes.

Cultivo A: se fertilizó con 60 kg de N por ha, alcanzó un IAF de 3 y empezó a tuberizar el 10 de marzo con una tasa de crecimiento promedio de 300 kg de papa por día.

Cultivo B: se fertilizó con 120 kg de N por ha, alcanzó un IAF de 4.5 y empezó a tuberizar el 25 de marzo con una tasa de crecimiento promedio de 400 kg de papa por día.

- a) Sobre la base de los siguientes datos de IAF y el crecimiento acumulado de tubérculos, ¿Cuál es el efecto de la fertilización nitrogenada en el crecimiento y desarrollo del cultivo?

Fecha	IAF		Rendimiento acumulado (kg)	
	Cultivo A	Cultivo B	Cultivo A	Cultivo B
15/2 (emergencia)				
22/2	1.0	1.0		
1/3	2.0	2.5		
15/3	3.5	4.0	1500	
30/3	3.5	4.5	6000	2000
15/4	3.5	4.5	10800	8400
30/4	2.0	4.5	15300	14400
15/5	1.0	3.0	19800	20400
25/5	-	1.0		24400

- b) El 15 de abril, un intenso ataque de tizón tardío (*Phytophthora infestans*) no controlado arrasó el follaje: ¿Cuál fue el rendimiento (kg) de cada uno de estos cultivos? Si el ataque del hongo hubiera sido controlado, los cultivos hubieran terminado su ciclo el 15/5 (cultivo A) y el 25/5 (cultivo B). ¿Qué conclusiones saca respecto al efecto de la disponibilidad de N en el desarrollo y rendimiento del cultivo de papa?
- c) Al inicio de la tuberización se define el número de tubérculos que crecerán. Si la densidad de plantación es de 0.28 x 0.72 m y cada mata produce 4 tubérculos promedio, ¿Cuál será el peso medio de los tubérculos en cada uno de los 4 casos planteados? Si el tamaño mínimo comercial es de 50g, ¿qué expectativa de rendimiento comercial tendríamos?

Ejercicio 19

Se ha estudiado la influencia de la época de siembra sobre el rendimiento de cebolla valenciana en el sur de Uruguay. A partir de siembras experimentales en Abril, Mayo, Junio y Julio durante 2 años, se establecieron las siguientes regresiones lineales:

Año 1 $Y = 96.74 - 0.46X$ [Mg/ha]

Año 2 $Y = 104.56 - 0.34X$

Dónde Y es el rendimiento por ha en kg y X es el día de siembra contado a partir del 1º de enero.

- a) Calcule para las tres fechas de siembra siguientes, el rendimiento esperado según el modelo lineal de cada año:

Fecha	día nº (X)	Año 1	Año 2
Abril 20	110		
Mayo 25	145		
Julio 5	186		

- b) ¿Qué factores pueden originar la diferencia entre años?

En la siguiente tabla se presenta el IAF y el peso seco total por ha al inicio de la bulbificación para tres fechas de siembra.

Fecha de siembra	IAF	Peso seco/ha (kg)
Abril 20	3,2	2500
Mayo 25	2,5	1875
Julio 5	1,5	1250

c) Suponiendo que el período de bulbificación dura 30 días en todos los casos, calcule la tasa de crecimiento diaria durante el período de llenado del bulbo y el rendimiento final del cultivo siguiendo la siguiente tabla:

Parámetros	Fecha de siembra		
	Abril 20	Mayo 25	Julio 5
Radiación Interceptada ($\text{MJ ha}^{-1} \text{d}^{-1}$): $\text{RI} = 80,000 \text{ MJ/ha d} * (1 - e^{-0.38 * \text{IAF}})$			
Asimilación Bruta ($\text{kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{d}^{-1}$): $\text{AB} = 0.007 \text{ kg CO}_2 / \text{MJ} * \text{RI}$			
Asimilación Neta ($\text{kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{d}^{-1}$): $\text{AN} = 30/44 * \text{AB} - (\text{Respiración Mant.})$ $\text{RM} = 0.015 * \text{Peso seco ha}^{-1}$			
Tasa de crecimiento ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{d}^{-1}$): $\text{TC} = 0.7 \text{ kg MS bulbo/ kg CH}_2\text{O} * \text{AN}$			
Rendimiento ($\text{kg MS bulbo ha}^{-1}$): $\text{Y} = \text{TC} * 30 \text{ días}$			
Rendimiento (kg ha^{-1}) $\% \text{MS bulbos} = 12\%$			

80,000 MJ/ha d = Radiación fotosintéticamente activa incidente.

$(1 - e^{-0.38 * \text{IAF}})$ = fracción de la radiación incidente interceptada por las hojas del cultivo, dependiente de la arquitectura de la planta y del IAF.

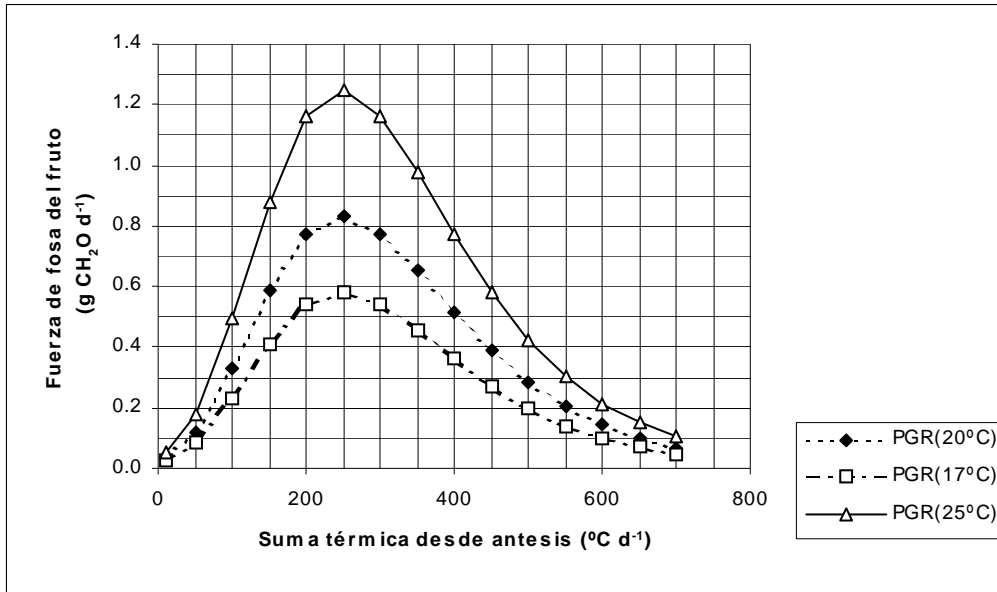
0.007 kg CO₂ /MJ = eficiencia fotosintética de uso de la luz.

30/44 = factor de conversión por diferencia de peso molecular entre 6 moléculas de CO₂ y 1 molécula de glucosa.

Ejercicio 20

Un cultivo de morrón bajo invernáculo 90 días después del trasplante tiene las siguientes características:

- Densidad de plantación = 3.12 pl m^{-2}
- Capacidad potencial de atraer asimilados por las partes vegetativas de la planta (Fuerza de Fosa Vegetativa) = $2.7 \text{ g CH}_2\text{O d}^{-1} + 0.08 \text{ g CH}_2\text{O d}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} * (\text{Temp} - 20 \text{ } ^\circ\text{C})$
- Número y edad fisiológica de los frutos por planta = 2 frutos con $50 \text{ } ^\circ\text{C d}^{-1}$
3 frutos con $200 \text{ } ^\circ\text{C d}^{-1}$
3 frutos con $350 \text{ } ^\circ\text{C d}^{-1}$
- Asimilados requeridos para formar 1g de órganos. Vegetativos : $1.4 \text{ g CH}_2\text{O g}^{-1} \text{ MS}$
- Asimilados requeridos para formar 1g de fruto: $1.35 \text{ g CH}_2\text{O g}^{-1} \text{ MS}$
- Capacidad potencial de atraer asimilados por el fruto de morrón a distintas temperaturas:



El 10 de diciembre la Asimilación Neta del cultivo (cantidad total de asimilados disponibles para el crecimiento de la planta) es de $13.5 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, y la temperatura media de 20°C .

- Calcule la fuerza de fosa vegetativa y de los frutos.
- Calcule el crecimiento real de los frutos en ese día.
- Calcule la relación fuente/fosa.
- ¿Cuál sería el crecimiento real de los frutos y la relación fuente/fosa si la temperatura media fuera de 25°C ? ¿Qué pasaría con el cuajado de nuevos frutos?

Ejercicio 21

El largo del ciclo en el cultivo de papa es uno de los factores principales que determina su potencial de rendimiento. Los siguientes eventos en la etapa previa al inicio de la tuberización afectan la duración del ciclo del cultivo de papa:

- Baja disponibilidad de Nitrógeno en el suelo
- Altas temperaturas ($> 25^\circ\text{C}$)

Explique cómo y por qué estos eventos afectan el largo del ciclo del cultivo de papa.

Ejercicio 22

En el siguiente cuadro se comparan dos cultivos de tomate, que difieren únicamente en la densidad de plantas por unidad de superficie: 20.000 y 40.000 plantas/ha.

- Complete la primera columna del cuadro, considerando cómo la diferencia en la población de plantas afecta la tasa de crecimiento del cultivo, y el número de frutos por racimo.
- Asumiendo que la fuerza de fosa vegetativa (FF veg) de un simpodio equivale a 3 veces la FF de cada fruto, calcule la partición de materia seca a los frutos, y el crecimiento diario de frutos con cada uno de los dos manejos (20.000 y 40.000 pl/ha):

Densidad (plantas/ha)	Tasa de crecimiento del cultivo ($\text{g MS}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	Frutos/racimo promedio	Partición a los frutos	Tasa crecimiento de los frutos ($\text{g MS}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)
	10	3		
	8	5		

Ejercicio 23

La mitad de un cultivo de cebolla fue re-fertilizado en cobertura con Nitrógeno (N1). En la otra mitad las condiciones del cultivo fueron siempre similares excepto que no se pudo re-fertilizar (N0) debido a una inoportuna rotura de la fertilizadora pendular.

- a) Pasados 40 días de la re-fertilización dio inicio la bulbificación y existieron diferencias importantes en el índice de área foliar de las dos partes que determinaron diferencias en la cantidad de radiación interceptada entre N1 y N0. Estime el crecimiento del cultivo en un día (g peso fresco total / m². día) para los dos tratamientos, completando la siguiente tabla y utilizando los datos al pie de la misma. Todos los cálculos realizados deben quedar planteados en la hoja de respuesta.

Variables del cultivo		N1	N0
Radiación interceptada (PAR)	(MJ / m ² . día)	3	2.5
Asimilación Bruta	(g CO ₂ / m ² . día)		
Respiración de Mantenimiento	(g CH ₂ O / m ² día)	2	1.6
Asimilación Neta	(g CH ₂ O / m ² día)		
Tasa de crecimiento (peso seco)	(g MS / m ² día)		
Tasa de crecimiento (peso fresco)	(g / m ² día)		

Eficiencia de uso de la luz = 7 g CO₂ / MJ

Fotosíntesis = CO₂ + H₂O → CH₂O + O₂

30 g CH₂O / 44 g CO₂ = 0.7 g CH₂O / g CO₂

Eficiencia de conversión = 0.7 g MS / g CH₂O

Contenido de materia seca = 10%

- b) Dado que el cultivo ya se encuentra en la etapa de bulbificación (tanto N1 como N0), ¿Qué porcentaje de el crecimiento estimado en la tabla corresponde a crecimiento de los bulbos? Explique brevemente.

- c) El productor observó que en una parte del cultivo la bulbificación se inició una semana más tarde que en la otra. ¿Qué parte supone usted que fue, N1 o N0? Fundamente brevemente su respuesta.

Ejercicio 24

En el Centro Regional Sur se realizó un experimento evaluando cultivares de cebolla y épocas de siembra y trasplante. En la siguiente tabla se presentan algunos de los resultados obtenidos.

	Cultivar	Fecha de siembra	Fecha de trasplante	Fecha de cosecha	Rendimiento (kg por ha)
Caso 1:	Primavera	15/04/2006	15/07/2006	23/11/2006	28000
Caso 2:	Pantanosos CRS	15/04/2006	15/07/2006	20/12/2006	39000
Caso 3:	Pantanosos CRS	15/05/2006	15/08/2006	26/12/2006	30000

- a) ¿a qué causas más probables se deben las diferencias en fecha de cosecha y en rendimiento obtenido entre el caso 1 y el caso 2?, explique

b) ¿a qué se debe la diferencia en rendimiento obtenido entre el caso 2 y el caso 3?, explique

Ejercicio 25

En un experimento de raleo de frutos en plantas de tomate se obtuvieron los siguientes resultados:

Número de frutos por racimo	Peso promedio de fruto (g por fruto)	Rendimiento (g por planta)
1	290 a	2320 c
3	285 a	6840 b
5	190 b	7600 a
6	163 c	7840 a

(valores seguidos por la misma letra no presentan diferencias significativas al 5%)

- ¿cuál es el tamaño promedio potencial de fruto para esta variedad? ¿por qué?
- Estime la partición de asimilados (porcentaje) a los frutos para los cuatro casos, sabiendo que la relación entre la fuerza de fosa de un fruto y la de un simpodio (unidad vegetativa) es de 1:3. Explique sus cálculos.
- El mayor número de frutos cosechados por planta cuando se dejan 6 frutos por racimo apenas compensa la caída en el tamaño promedio de frutos y por lo tanto no hay diferencias significativas en el rendimiento por planta. ¿Cómo podemos explicar este resultado?
- En un experimento anterior a este los investigadores intentaron dejar 7 frutos por racimo en el tratamiento de más frutos, pero observaron que al llegar al tercer o cuarto racimo con 7 frutos, las plantas ya no cuajaban 7 frutos sino solo 5 o 6, y a veces menos. ¿Cómo podemos explicar este comportamiento?

Ejercicio 26

En el Centro Regional Sur se realizó un experimento evaluando cultivares de cebolla y épocas de siembra y trasplante. En la siguiente tabla se presentan algunos de los resultados obtenidos.

	Cultivar	Fecha siembra	Fecha trasplante	Fecha cosecha	Porcentaje e floración prematura	Rendimiento (kg ha ⁻¹)
Caso 1:	Primavera	15 marzo	15 junio	20 noviembre	5%	41500
Caso 2:	Pantanos o CRS	15 marzo	15 junio	15 diciembre	23%	29000
Caso 3:	Primavera	15 abril	20 julio	24 noviembre	0%	31000
Caso 4:	Pantanos o CRS	15 abril	20 julio	20 diciembre	0%	42000

- ¿A qué causa más probable se debe la diferencia en fecha de cosecha entre ambas variedades, en las dos fechas de siembra y trasplante?, explique brevemente
- ¿A qué se debe la diferencia en rendimiento obtenido entre el **Caso 1** y el **Caso 3**?, explique brevemente

- c) ¿A qué se debe la diferencia en rendimiento obtenido entre el **Caso 2** y el **Caso 4**?, explique brevemente
- d) ¿Por qué diferencias de 35 días en la fecha de trasplante producen un atraso de solo 4 o 5 días en la fecha de cosecha en cualquiera de las dos variedades?, explique brevemente

Ejercicio 27

- a) El largo del ciclo es un factor importante en la determinación del rendimiento de los cultivos. Exprese mediante una ecuación matemática la relación que existe entre el rendimiento de un cultivo (kg ha^{-1}), el largo del ciclo (días), la tasa de crecimiento ($\text{kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) y el índice de cosecha (kg kg^{-1}).
- b) La fecha de siembra es un factor de manejo que afecta fuertemente el largo del ciclo del cultivo de cebolla. Explique por qué.
- c) La fertilización (dosis) de Nitrógeno en las primeras semanas luego de la emergencia del cultivo de papa es un factor importante para regular el largo del ciclo de este cultivo. Explique por qué.
- d) La práctica de ‘despunte’ o ‘capado’ de las plantas de tomate de tipo indeterminado es realizada por los productores para ‘terminar’ o cortar el ciclo del cultivo en invernáculo cuando se acerca el final de la temporada. ¿qué efecto tiene esta práctica sobre el crecimiento de los frutos ya cuajados? Explique.

6. Solución de los Ejercicios

Ejercicio 1

a_ Fuerza de fosa: capacidad potencial de un órgano de atraer asimilados en un período de tiempo.

b_ La cantidad de asimilados que se utilizará para el crecimiento de los frutos es proporcional a la fuerza de fosa de los frutos en relación a la fuerza de fosa total:

$$FF_{\text{rep}}/FF_{\text{tot}} = 12\text{gCH}_2\text{O m}^{-2}\text{d}^{-1} / (8\text{gCH}_2\text{O m}^{-2}\text{d}^{-1} + 12\text{gCH}_2\text{O m}^{-2}\text{d}^{-1}) = \mathbf{0.6}$$

Cantidad de asimilados hacia los frutos = AN * 0.6 = 15gCH₂O m⁻²d⁻¹ * 0.6 = **9gCH₂O m⁻²d⁻¹**

c_ Fuente/Fosa = 15gCH₂O m⁻²d⁻¹ / (8gCH₂O m⁻²d⁻¹ + 12gCH₂O m⁻²d⁻¹) = **0.75**

d_ Fuente ~constante

FF frutos ↑ + FFveg ~constante

Proceso	SÍ Afectado	NO Afectado
Tasa de desarrollo (velocidad de aparición de nuevas hojas y racimos)		x
Producción total de Materia Seca (crecimiento total de la planta)		x
Crecimiento total de los frutos	x	
Crecimiento total de los órganos vegetativos	x	
Partición de la materia seca a los frutos (índice de cosecha)	x	

Ejercicio 2

a) Rto (kg ha⁻¹) = TC (kg ha⁻¹ d⁻¹) * LC (d) * IC

Tiene mayor potencial de rendimiento el cultivo sembrado en Rocha por tener mayor largo de ciclo (agua y nutrientes no limitantes).

b) El cultivo de Rocha, ya que por tener mayor **potencial** de rendimiento, los requerimientos en N serán mayores. A su vez, una aplicación **alta de N** alarga la primera etapa de crecimiento y desarrollo (brotación a comienzo de tuberización), atrasando el comienzo de la tuberización, permitiendo mayor crecimiento del área foliar y alargando todo el ciclo del cultivo. Esto favorece el rendimiento en Rocha, pero lo perjudica en Canelones ya que en esta zona el fin del ciclo está determinado por la ocurrencia de las primeras heladas.

c) El cultivo de Canelones. Por tener menos días para su crecimiento, el tamaño máximo que alcanzarán las plantas será menor al que podrían tener en un ciclo más largo. Por lo tanto, aumentando un poco la densidad se puede aprovechar mejor el espacio y se cubre antes el suelo. También el aumento en la densidad hace que aumente la competencia entre plantas, adelantando la disminución de la tasa de expansión del follaje y por lo tanto favoreciendo el inicio de la tuberización y por lo tanto un ciclo más corto.

Ejercicio 3

a_ En el cultivo de cebolla, el factor que determina el comienzo de la bulbificación es el fotoperíodo. Esta respuesta está determinada genéticamente, y por tanto el requerimiento FP depende del cultivar. Independientemente de la fecha de siembra, una vez alcanzado el umbral de fotoperíodo, se induce la bulbificación.

b_ Entre las distintas fechas, no hay diferencias importantes en la **duración de la bulbificación**. La diferencia en rendimiento se debe a la **tasa de crecimiento de bulbos**. La duración de la etapa de crecimiento foliar, determina diferencias en el IAF al comienzo de la bulbificación (a partir de aquí, cesa la aparición y el crecimiento de nuevas hojas y raíces). El porcentaje de radiación interceptada y por lo tanto la fuente disponible para crecimiento de bulbos será mayor en el cultivo que tuvo mayor duración de crecimiento foliar.

c_ Una primavera más fría aumentaría el rendimiento, ya que temperaturas medias menores alargan la duración de la bulbificación, sin afectar significativamente la tasa de crecimiento del bulbo, debido a que la temperatura se mantiene cercana a la óptima para la tasa de asimilación neta en esta especie (20 °C).

Ejercicio 4

a_ La partición hacia los frutos depende de la fuerza de fosa que estos ejerzan:
 $FF_{\text{frutos}} = n^{\circ}\text{frutos} * FF_{\text{cada fruto}}$. Al aumentar la temperatura, aumenta la actividad de los órganos en crecimiento (vegetativo y reproductivo). En este caso las plantas se someten al tratamiento de temperatura con varios racimos cuajados (muchos frutos), por lo que si bien aumenta la FF_{total} , aumenta proporcionalmente más la de frutos que la vegetativa, determinando mayor partición de MS a los frutos. El crecimiento total de la planta no se vio afectado durante este período, ya que las temperaturas se encuentran dentro de los rangos óptimos, no afectando significativamente la TAN.

$$b_ \text{Fuente/Fosa} = \frac{F_{\text{te}} \sim \text{cte}}{FF_{\text{frutos}} \uparrow\uparrow + FF_{\text{veg}} \uparrow}$$

La relación fuente/fosa fue menor en el tratamiento a 23°C, porque aumenta la FF_{total} y se mantiene constante la cantidad de asimilados para el crecimiento. El cuajado de nuevos frutos será menor a esta temperatura, ya que la disponibilidad de asimilados es menor.

Ejercicio 5

a_ La diferencia se debe a que estos cultivares tienen diferente requerimiento de fotoperíodo para el comienzo de la bulbificación.

b_ La tasa de crecimiento será mayor en Pantanoso. El período desde siembra a inicio de bulbificación fue mayor en este cultivar, por lo que tendrá mayor IAF al inicio de la bulbificación y por lo tanto podrá interceptar mayor porcentaje de la radiación PAR incidente. La duración del período de bulbificación será menor para Pantanoso, ya que crece a una temperatura promedio mayor y porque intercepta mayor % de la radiación incidente (mayor IAF), lo que afecta la calidad de la luz en la base de las plantas (baja la relación rojo/rojo lejano), acelerando la tasa de desarrollo.

Ejercicio 6

a_ La partición de asimilados hacia los frutos dependerá de la FFfrutos en relación a la total. Al aumentar el nº de frutos por racimos, se aumenta la FFfrutos.

$$FFfrutos = n^{\circ} \text{ de frutos} * FFcada \text{ fruto}$$

b_ Un período de alto cuajado no controlado modifica la relación fuente/fosa =
Fuente (=)

$$\frac{\text{Fuente (=)}}{FF \text{ frutos } (\uparrow) + FFveg (=)} = \downarrow$$

La disponibilidad de asimilados será menor, por lo que habrá menor cuajado como mecanismo de regular la competencia entre crecimiento vegetativo y reproductivo.

c_ La relación FFsimpodio y FFfruto es de 3:1. Por lo que si se dejan 3 frutos por racimo, la FFveg = FFrep. La partición a frutos sería 50%.

$$\text{Con 5 frutos: \%partición a frutos} = \frac{FFfrutos}{FFtotal} = \frac{1/3 * (5)}{1 + 1/3 * (5)} * 100 = 62.5\%$$

Ejercicio 7

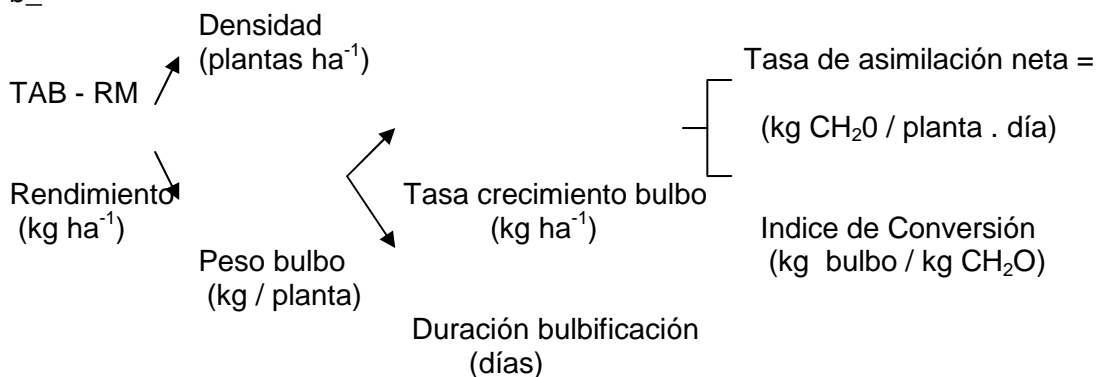
Opción 4: menor fertilización N y mayor densidad. Dado que se reduce la duración total del ciclo, un atraso en el comienzo de la tuberización reduce aun más el potencial de rendimiento. Alta fertilización atrasa la entrada en tuberización al modificar la relación fte/fosa. Con mayor densidad se adelanta el inicio de la tuberización ya que se cubre más tempranamente el suelo y la competencia entre tallos provoca el comienzo de la tuberización.

Ejercicio 8

a_

Fotoperíodo	Largo	Corto
Relación Rojo : Rojo Lejano	Alta	Baja
Disponibilidad de Nitrógeno	Alta	Baja
Temperatura	Alta	Baja

b_



Rendimiento (kg ha^{-1}) = Densidad (pl ha^{-1}) * peso bulbo (kg ha^{-1})
 Peso bulbo (kg ha^{-1}) = TC bulbo ($\text{kg ha}^{-1}\text{d}^{-1}$) * duración de la bulbificación (d)
 Tasa crecimiento bulbo (kg planta d^{-1}) = TAN ($\text{kg CH}_2\text{O planta d}^{-1}$) * IC ($\text{kg bulbo / kg CH}_2\text{O}$)
 Tasa de Asimilación Neta ($\text{kg CH}_2\text{O planta d}^{-1}$) = TAB ($\text{kg CH}_2\text{O planta d}^{-1}$) – RM ($\text{kg CH}_2\text{O planta d}^{-1}$)

c1_ Se debe a los diferentes requerimientos de fotoperíodo de los cultivares.
 c2_ La tasa de crecimiento será mayor en Valcatorce, ya que al ser plantadas en la misma fecha, alcanza mayor área foliar al inicio de la bulbificación. Esto determina que durante el período de bulbificación, el porcentaje de radiación interceptada será mayor para este cultivar por tener mayor IAF.

Ejercicio 9

a_ Baja Radiación incidente y Temperatura media 15 °C 3
 Baja Radiación incidente y Temperatura media 25 °C 4
 Alta Radiación incidente y Temperatura media 25 °C 1
 Alta Radiación incidente y Temperatura media 15 °C 2

b_

Tasa de desarrollo (velocidad de aparición de hojas y racimos)	igual
Tasa de crecimiento total por unidad de superficie (kg MS m^{-2})	mayor
Porcentaje de cuajado de flores en frutos	menor
Partición de materia seca a los frutos (índice de cosecha)	menor
Fuerza de fosa vegetativa por unidad de superficie	mayor

c_

Con 4 frutos:

$$\% \text{partición a frutos} = \frac{\text{FFfrutos} / \text{FFtotal}}{3 + 1 * (4)} * 100 = 57\%$$

Con 6 frutos:

$$\% \text{partición a frutos} = \frac{1 * (6)}{3 + 1 * (6)} * 100 = 67\%$$

Ejercicio 10

Podemos dividir el ciclo del cultivo de papa en tres etapas, en función del principal destino de los asimilados producidos.

a_ Fase 1: desde brotación a comienzo de tuberización. Los asimilados se destinan a crecimiento de hojas, tallos y raíces. Inicialmente la fuente de asimilados la constituye las reservas presentes en el tubérculo.

Fase 2: desde inicio de tuberización a cese de crecimiento foliar. Es una fase de competencia donde los asimilados se destinan a crecimiento foliar y a crecimiento de tubérculos y estolones. A medida que aumenta la fuerza de fosa de tubérculos, se destinan proporcionalmente más asimilados a su crecimiento provocando finalmente el cese del crecimiento foliar.

Fase 3: desde fin de crecimiento de follaje a senescencia. El área foliar va disminuyendo por no haber reposición de nuevas hojas. Todos los asimilados se destinan a crecimiento de tubérculos.

b_ La diferenciación de ramas y de hojas se determina en la primera etapa de crecimiento, por lo que la duración de ésta determina el número de ramificaciones y hojas en la planta,

afectando la duración de todo el ciclo del cultivo. Por cada día que se prolongue esta primera etapa, se alarga 3 días todo el ciclo. Por ejemplo, la duración de la tercera etapa depende de la duración del área foliar (DAF) y ésta, de factores del ambiente y de la cantidad de follaje acumulado previamente. Por lo que la duración de la primera etapa afecta directamente la duración de ésta última.

c_ Fotoperíodo: El final de la primera etapa está dado por el comienzo de la tuberización. La papa es una especie de día corto cuantitativo. El acortamiento de los días acelera el inicio de la tuberización, por lo que en presencia de días cortos, la duración de la primera etapa será menor.

Temperatura: influye a través de su efecto en la relación fuente/ fosa. Temperaturas por encima o debajo de 20°C prolongarán la duración de la primera etapa. Por debajo de 20° la TAN es subóptima, así como se enlentece la aparición de nuevas hojas. Entre 20 y 25 °C la TAN no cambia significativamente pero la fuerza de fosa de follaje aumenta, disminuyendo la relación Fuente/fosa. Por encima de 25 °C el efecto es aún peor ya que la TAN baja significativamente y la Follaje sigue incrementándose.

Disponibilidad de nitrógeno: cuanto mayor sea, mayor será la duración de esta primera etapa ya que el N promueve la ramificación y expansión de las hojas en crecimiento. Afecta la relación fuente/fosa, en la medida que aumenta la fuerza de fosa del follaje.

Ejercicio 11

a_

Primavera:

$$\text{TAN (kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ d}^{-1}) = 200 \text{ kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ d}^{-1} - 60 \text{ kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ d}^{-1} = \mathbf{140 \text{ kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ d}^{-1}}$$

$$\text{TC (kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}) = 140 \text{ kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ d}^{-1} * 0.7 = \mathbf{98 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}}$$

$$\text{Rto (kg ha}^{-1}) = 98 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1} * 35 = \mathbf{3430 \text{ kg MS ha}^{-1}}$$

$$\begin{array}{l} 3430 \text{ kg MS} \text{-----} 10\% \\ \quad \quad \quad \times \text{-----} 100\% \end{array}$$

$$x = \mathbf{34300 \text{ kg/ha}}$$

Valcatorce:

$$\text{TAN (kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ d}^{-1}) = 280 \text{ kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ d}^{-1} - 80 \text{ kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ d}^{-1} = \mathbf{200 \text{ kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ d}^{-1}}$$

$$\text{TC (kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}) = 200 \text{ kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ d}^{-1} * 0.7 = \mathbf{140 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}}$$

$$\text{Rto (kg ha}^{-1}) = 140 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1} * 30 = \mathbf{4200 \text{ kg MS ha}^{-1}}$$

$$\begin{array}{l} 4200 \text{ kg MS} \text{-----} 10\% \\ \quad \quad \quad \times \text{-----} 100\% \end{array}$$

$$x = \mathbf{42000 \text{ kg/ha}}$$

b_

Fecha de bulbificación	Diferencia en el requerimiento de fotoperíodo entre las dos variedades
Duración de la bulbificación	Temperaturas promedio octubre vs. diciembre % de radiación interceptada (IAF)
Respiración de mantenimiento	Temperatura media Biomasa
Tasa de Asimilación Bruta	Radiación incidente % de radiación interceptada Temperatura

Ejercicio 12

a_

Radiación incidente	Alta	Baja	
Temperatura	12 – 14 °C	18 – 20 °C	26 – 28 °C
Densidad de siembra	Alta	Baja	
Fotoperíodo	Largo	Corto	
Disponibilidad de N	Alta	Baja	
Estado fisiológico de la semilla	Brotación apical	Brotación múltiple	

b_idem Ej.10 parte b.

c_ El índice de cosecha pudo haber sido menor por: factores del ambiente que provoquen un adelanto en la finalización del cultivo (ej, una helada temprana, o problemas sanitarios que causen una disminución importante del área foliar), o por factores de manejos que provoquen un atraso en el inicio de la tuberización: alta disponibilidad de nitrógeno, baja densidad de siembra, semilla joven (brotación apical).

Ejercicio 13

a_

Tasa de crecimiento total	↓
Tasa de desarrollo	↑
Fuerza de fosa vegetativa	↑
Fuerza de fosa de todos los frutos	↑
Relación fuente/fosa	↓
Duración del período antesis - maduración del fruto	↓
Porcentaje de cuajado	↓
Tamaño promedio de fruto cosechado	↓

b_ FFveg = 15 g CH₂O m⁻² d⁻¹
FFfrutos = 30 g CH₂O m⁻² d⁻¹

Partición a frutos = $30 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1} / (15 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1} + 30 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1}) * 100 = 66.67\%$

AN (fin de enero) = $47 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1} - 27 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1} = 20 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

Asimilados destinados a crecimiento de frutos: $20 * 0.6667 = 13.334 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

Relación fuente fosa = $20 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1} / (15 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1} + 30 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1}) = 0.44$

Ejercicio 14

a_ En el cultivo de Rocha, por tener mayor potencial de rendimiento (ciclo más largo).

b_ El cultivo en Canelones podrá ser de mayor densidad ya que las plantas crecerán menos (por tener menos tiempo total para su crecimiento y desarrollo) y con esta medida de manejo puedo adelantar el inicio de la tuberización.

c_ La semilla en estado de brotación múltiple tendrá que sembrarse en Canelones. El resultado es similar a aumentar la densidad, la competencia entre tallos se producirá antes provocando el inicio de la tuberización.

Ejercicio 15

a_ La relación FFsimpodio y FFfruto es de 3:1. Por lo que si se dejan 3 frutos por racimo, la FFveg = FFrep. La partición a frutos sería 50%.

Con 5 frutos: %partición a frutos = $\frac{FFfrutos}{FFtotal} = \frac{1/3 * (5)}{1 + 1/3 * (5)} * 100 = 62.5\%$

b_ Con 3 frutos la cantidad de asimilados destinada a crecimiento vegetativo será la mitad.

$AN * 0.5 = 20 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1} * 0.5 = 10 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

Con 5 : $100 - 62.5 = 37.5\%$

$AN = 20 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1} * 0.375 = 7.5 \text{ g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

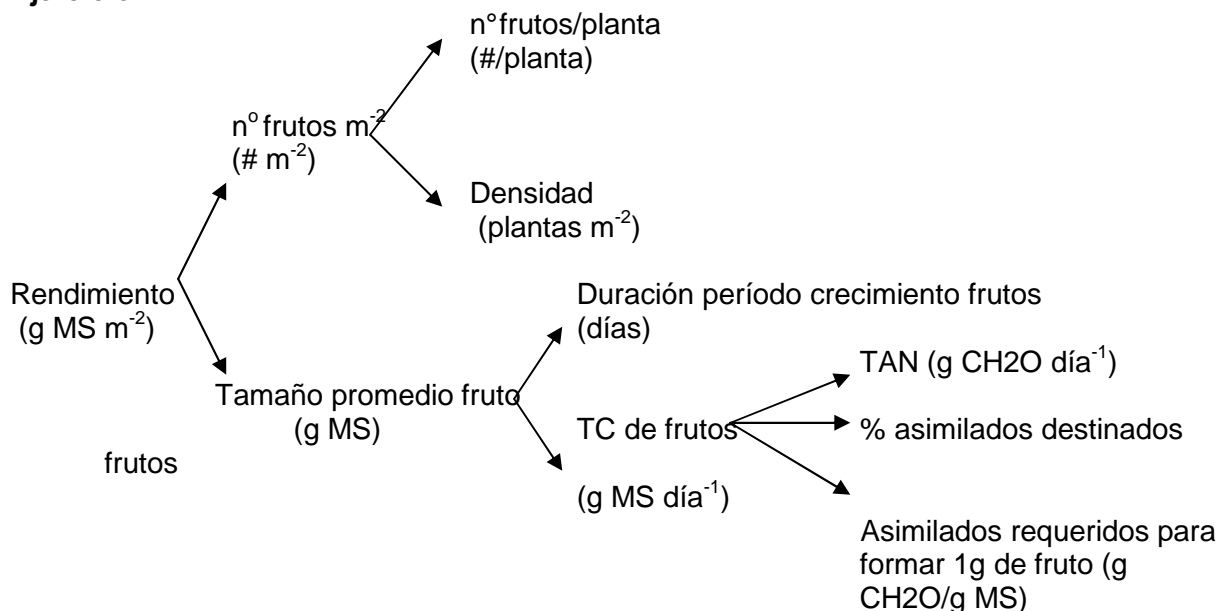
Ejercicio 16

a_ El aumento de densidad no tiene efecto sobre el desarrollo. El desarrollo está regulado por la temperatura.

A mayor densidad, mayor es el porcentaje de radiación interceptada por el cultivo por unidad de superficie, por lo que la tasa de crecimiento será mayor.

b_ El factor que determina el % de cuajado en la planta es la disponibilidad de asimilados. Podemos utilizar la relación fuente-fosa como un indicador de la cantidad de asimilados disponibles. A mayor densidad menor es el tamaño individual de cada planta y por tanto la fuente. El porcentaje de cuajado será menor a mayor densidad. La partición de asimilados es proporcional a la fuerza de fosa que ejerzan los distintos órganos de la planta. Si disminuye el porcentaje de cuajado disminuye el número de frutos creciendo, por lo que la fuerza de fosa de frutos es menor en un cultivo a mayor densidad.

Ejercicio 17



$\text{Rendimiento (g MS m}^{-2}\text{)} = \text{n}^\circ \text{frutos /m}^2 \text{ (#m}^{-2}\text{)} * \text{tamaño promedio de fruto (g MS)}$

$\text{N}^\circ \text{frutos m}^{-2} = \text{n}^\circ \text{frutos/planta} * \text{densidad (plantas m}^{-2}\text{)}$

$\text{Tamaño promedio fruto (g MS)} = \text{TC de frutos (g MS día}^{-1}\text{)} * \text{duración período crecimiento frutos (días)}$

$TC \text{ frutos (g MS día}^{-1}) = TAN \text{ (g CH}_2\text{O día}^{-1}) * \% \text{ asimilados destinados frutos (\%)} * \text{ índice conversión (g CH}_2\text{O/g MS)}$

Ejercicio 18

a_ El N promueve la ramificación y expansión de las hojas en crecimiento. Afecta la relación fuente/fosa en la medida que aumenta la fuerza de fosa del follaje, por lo que alta disponibilidad de N provoca un atraso en el inicio de la tuberización. Alarga la etapa 1 del crecimiento y por tanto el largo total del ciclo del cultivo. El cultivo A fertilizado con 60 kg de N alcanzó un IAF de 3 mientras que el cultivo B que recibió 120 kg de N alcanzó un IAF de 4.5. Por lo que la duración del área foliar (DAF) también será mayor para este cultivo.

b_ La fertilización nitrogenada es una de las herramientas disponibles para regular el largo del ciclo (ver parte a). Es importante conocer este efecto, ya que cualquier evento que destruya el follaje (una helada o en este caso una epidemia) puede provocar el fin del cultivo antes de lo esperado. Al 15 de abril, el rendimiento acumulado fue de 10800kg para el cultivo A y de 8400 el B. En este último una dosis mayor de N provocó que la tuberización comenzara 15 días después que en el cultivo A, por lo que el período de crecimiento de tubérculos fue menor para el cultivo B dando por resultado menor rendimiento.

c_ marco de plantación= 0.28m * 0.72m

Densidad: 5 plantas/m² ~ 50000 plantas/ha

Cada planta tiene en promedio 4 tubérculos ~ 200000 tubérculos/ha

Fecha	Cultivo A. Rendimiento (kg/ha)	Peso medio tubérculos (g)	Cultivo B. Rendimiento (kg/ha)	Peso medio tubérculos (g)
15/4	10800	54	8400	42
15/5	19800	99	---	---
25/5	---	---	24400	122

Al 15 de abril, el cultivo B no obtiene rendimiento comercial.

Ejercicio 19

Fecha	Día n°(x)	Año 1	Año 2
20 abril	110	46.14	67.16
25 mayo	145	30.04	55.26
5 julio	186	11.18	41.32

Año 1: $Y = 96.74 - 0.46x$

Año 2: $Y = 104.56 - 0.34x$

b_ Las diferencias observadas entre años pueden deberse, por ejemplo a diferencias en la temperatura promedio durante el período de crecimiento de bulbos. Temperaturas promedios menores el segundo año, pueden estar ocasionando mayor duración de este período y por tanto mayor rendimiento final (suponiendo que no hay diferencias importantes en TC). Otra posibilidad es que las diferencias se deban a mayor cantidad de radiación interceptada por mayor radiación incidente (menos días nublados). Esto último no solo durante el período de crecimiento de bulbos, sino desde siembra, ya que puede haber

generado diferencias importantes en el IAF con que se llega a bulbificación en el año 1 vs. año 2.

Otra diferencia entre años puede tener que ver con la incidencia de enfermedades y/o plagas que provoquen disminución del área foliar y por tanto disminución del rendimiento.

c_

Parámetros	Fecha de siembra		
	Abril 20	Mayo 25	Julio 5
Radiación Interceptada ($\text{MJ ha}^{-1} \text{d}^{-1}$): $\text{RI} = 80,000 \text{ MJ/ha d} * (1 - e^{-0.38 * \text{IAF}})$	56286,92	49060,72	34757,96
Asimilación Bruta ($\text{kg CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{d}^{-1}$): $\text{AB} = 0.007 \text{ kg CO}_2 / \text{MJ} * \text{RI}$	394,01	343,43	243,31
Asimilación Neta ($\text{kg CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{d}^{-1}$): $\text{AN} = 30/44 * \text{AB} - (\text{Respiración Mant.})$ $\text{RM} = 0.015 * \text{Peso seco ha}^{-1}$	231,14	206,03	147,14
Tasa de crecimiento ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{d}^{-1}$): $\text{TC} = 0.7 \text{ kg MS bulbo/ kg CH}_2\text{O} * \text{AN}$	161,80	144,22	103,00
Rendimiento ($\text{kg MS bulbo ha}^{-1}$): $\text{Y} = \text{TC} * 30 \text{ días}$	4853,98	4326,60	3089,95
Rendimiento (Kg ha^{-1}) $\% \text{MS bulbos} = 12\%$	40449,87	36054,97	25749,55

Ejercicio 20

$$a_ \text{FFveg} = 2.7 \text{ g CH}_2\text{O d}^{-1} + 0.08 \text{ g CH}_2\text{O d}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} * (\text{Temp} - 20 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Fuerza de fosa de frutos:

La fuerza de fosa varía con la temperatura y según el estado de desarrollo del órgano en cuestión, en este caso los frutos. La evolución de la fuerza de fosa que ejercen los frutos en función de estos dos factores, puede leerse directamente de la gráfica. Conociendo el número de frutos en cada edad fisiológica, podemos calcular para cada temperatura la fuerza de fosa de los frutos.

Ejemplo para 20°C:

$$\text{FFfrutos} = 2 * 0.1 \text{ g CH}_2\text{O d}^{-1} + 3 * 0.8 \text{ g CH}_2\text{O d}^{-1} + 3 * 0.65 \text{ g CH}_2\text{O d}^{-1}$$

$$\text{FFfrutos} = 4.55 \text{ g CH}_2\text{O d}^{-1}$$

Temp	17°C	20°C	25°C
FFveg/planta($\text{g CH}_2\text{O d}^{-1}$)	2,46	2,7	3,1
FFfrutos ($\text{g CH}_2\text{O d}^{-1}$)	3,2	4,55	6,85
FFveg/ m^2 ($\text{g CH}_2\text{O d}^{-1}$)	7,68	8,42	9,67
FFfrutos/ m^2 ($\text{g CH}_2\text{O d}^{-1}$)	9,98	14,20	21,37

b_ Partición a frutos: $\text{FFfrutos} / \text{FFtotal}$

$$4.55 \text{ g CH}_2\text{O d}^{-1} / (4.55 + 2,7 \text{ g CH}_2\text{O d}^{-1}) * 100$$

$$\text{Partición a frutos (\%)} = 62.75$$

AN (el 10 de diciembre) = 13.5 g CH₂O m⁻² d⁻¹

Temperatura: 20 °C

13.5 g CH₂O*0.6275=8.47 g CH₂O

1g de fruto: 1.35g CH₂O g⁻¹ MS

x-----8.47

x=6.18 g de fruto m⁻² d⁻¹

c_ Relación fuente/fosa

=13.5 g CH₂O d⁻¹m⁻²/(8.42+14.2 g CH₂O d⁻¹)

=0.60

d_ suponiendo que la AN es la misma: 13.5g CH₂O d⁻¹:

La fuerza de fosa de frutos a 25°C asciende a 9.67 g CH₂O d⁻¹m⁻²

Partición a frutos = 68.84%

Asimilados a frutos: 0.6884*13.5g CH₂O d⁻¹m⁻²= 9.295g CH₂O d⁻¹m⁻²

1g de fruto: 1.35g CH₂O g⁻¹ MS

x-----9.295

x= 6.86g de fruto m⁻² d⁻¹

Relación fuente/fosa = 13.5 g CH₂O d⁻¹m⁻²/(9.67+21.37g CH₂O d⁻¹)

=0.43

El factor que determina el % de cuajado en la planta es la disponibilidad de asimilados. Podemos utilizar la relación fuente/fosa como un indicador de la cantidad de asimilados disponibles. Al aumentar la temperatura aumenta la fuerza de fosa de la planta. Si la asimilación neta no cambia, la relación fuente/fosa disminuye, provocando disminución del porcentaje de cuajado.

Ejercicio 21

a_ El N promueve la ramificación y expansión de las hojas en crecimiento. Afecta la relación fuente/fosa, en la medida que aumenta la fuerza de fosa del follaje, por lo que baja disponibilidad de N provoca un adelanto en el inicio de la tuberización.

b_ La temperatura influye a través de su efecto en la relación fuente/ fosa. Temperaturas por encima o debajo del rango de 17-20°C prolongarán la duración de la primera etapa. Por encima de 20°C, la TAN no se ve afectada, pero aumenta significativamente la fuerza de fosa de follaje, disminuyendo la relación Fuente/fosa.

Ejercicio 22

Densidad (plantas/ha)	Tasa de crecimiento del cultivo (g MS·m ⁻² ·d ⁻¹)	Frutos/racimo promedio	Partición a los frutos	Tasa crecimiento de los frutos (g MS·m ⁻² ·d ⁻¹)
40000	10	3	50%	5
20000	8	5	62.5%	5

a_ La primera fila corresponde a la mayor densidad, ya que al tener más plantas por unidad de superficie la intercepción de luz es mayor, y por tanto será mayor la tasa de crecimiento del cultivo/m². A su vez, la densidad afecta el porcentaje de cuajado, lo que se ve a través

del número de frutos por racimo. Es de esperar que a mayor densidad cada planta individual sea más pequeña, lo que se traduce en menor cantidad de asimilados disponibles respecto a la situación de menor densidad, con plantas más grandes, afectando el porcentaje de cuajado.

b- Partición a frutos: $1(3)/1(3)+3 = 0,5$

Con 20000 plantas: $1(5)/1(5)+3 = 0,625$

Ejercicio 23

a_

Variables del cultivo		N1	N0
Radiación interceptada (PAR)	(MJ m ⁻² . día ⁻¹)	3	2.5
Asimilación Bruta	(g CO ₂ m ⁻² . día ⁻¹)	21	17.5
Respiración de Mantenimiento	(g CH ₂ O m ⁻² . día ⁻¹)	2	1.6
Asimilación Neta	(g CH ₂ O m ⁻² . día ⁻¹)	12.7	10.65
Tasa de crecimiento (peso seco) (¹)	(g MS m ⁻² . día ⁻¹)	0.89	0.75
Tasa de crecimiento (peso fresco)	(g m ⁻² . día ⁻¹)	8.89	7.46

AB (g CO₂ m⁻². día⁻¹) = RI (MJ m⁻². día⁻¹) * EUL (g CO₂ / MJ)

AN (g CH₂O m⁻². día⁻¹) = AB (g CO₂ m⁻². día⁻¹) * 0.7 g CH₂O / g CO₂ - RM

TC fresco (g m⁻². día⁻¹) = AN (g CH₂O m⁻². día⁻¹) * EC (g MS / g CH₂O)

TC seco (g MS m⁻². día⁻¹) = AN (g CH₂O m⁻². día⁻¹) / 10

b_ Una vez que comienza la bulbificación, todos los asimilados generados se destinan a crecimiento del bulbo. Cesa la aparición y crecimiento de hojas y raíces.

c_ Si bien el fotoperíodo es el factor desencadenante de la bulbificación, hay otros factores del ambiente que pueden modificar levemente esta respuesta. El Nitrógeno es una de ellas, a través de su efecto en la promoción del crecimiento foliar. Por lo que es de esperar que en la mitad fertilizada, la bulbificación se de un poco más tarde.

Ejercicio 24

a_ se trata de dos variedades con diferentes requerimientos de fotoperíodo para la bulbificación. Primavera requiere un fotoperíodo menor por lo que comenzó a bulbificar antes que Pantanoso, lo que explica la diferencia de casi un mes a cosecha. Al ser sembradas al mismo momento, el desarrollo foliar al que llegó Primavera probablemente haya sido bastante menor que el de Pantanoso que tuvo un mes más aproximadamente para desarrollar hojas. Este menor IAF se traduce en menor rendimiento de bulbos.

b_ en este caso es el mismo cultivar sembrado con un mes de diferencia. Comenzaron a bulbificar al mismo tiempo, por lo que el cultivo que fue sembrado con anticipación desarrolló mayor cantidad de hojas alcanzando mayores rendimientos.

Ejercicio 25

a_ la fuerza de fosa se define como la cantidad potencial de asimilados que un fruto puede demandar o consumir. Al haber solo un fruto por racimo, éste puede crecer a su potencial ya que no tiene competencia. En esta variedad el tamaño potencial es de 290g.

b_ ver ejercicio 6.

c_ la cantidad de asimilados que se destina a los frutos depende de la fuerza de fosa que estos ejerzan en relación a la fuerza de fosa total de la planta. Es mayor a medida que aumenta el número de frutos, ya que $F_{\text{frutos}} = F_{\text{cada fruto individual}} * n^{\circ} \text{ de frutos}$. Como lo que efectivamente va a frutos es proporcional a la fuerza de fosa total de la planta (y la F_{veg} no cambia), el aumento que provoca cada nuevo fruto es menor.

En la medida de que la AN no aumente, tenemos la misma cantidad de asimilados para distribuir entre más frutos, por lo que el tamaño de cada fruto será menor.

d_ el cuajado depende de la disponibilidad de asimilados. La cantidad de frutos que haya por racimo afecta la relación fuente/fosa. Si dejo muchos frutos esta relación baja comprometiéndolo el cuajado de frutos del próximo racimo.

Ejercicio 26

a_ Primavera es una variedad que requiere menor fotoperíodo para comenzar a bulbificar, por eso madura y se cosecha antes que Pantanoso del Sauce CRS independientemente de cuándo haya sido plantada.

b_ Cada cultivar tiene un rango de fechas óptimo para siembra que está directamente relacionado a la respuesta al fotoperíodo que ese cultivar en particular presente. Si nos retrasamos, estamos acortando el tiempo que el cultivo tendrá para desarrollar área foliar, ya que el crecimiento de la parte aérea como de raíces se detiene una vez que comienza la bulbificación, lo que repercute negativamente en el rendimiento.

c_ Si al contrario de la situación presentada en b, la fecha de siembra se adelanta varios días, la planta puede comenzar a estar sensible al estímulo del frío, acumulando horas de frío. Esto provoca que un % determinado de plantas en vez de bulbificar, florezca al darse las condiciones de temperatura y fotoperíodo requeridas. Estas plantas pierden su calidad comercial, por lo que el rendimiento disminuye.

d_ Esto se debe a que tienen diferente fotoperíodo crítico para bulbificar, por lo que independientemente de haber sido plantadas con un mes de diferencia, cada variedad bulbifica y se cosecha más o menos en la misma fecha.

Ejercicio 27

a_ $R \text{ (kg ha}^{-1}\text{)} = LC \text{ (días)} \times TC \text{ (kg ha}^{-1}\text{día}^{-1}\text{)} \times IC \text{ (kg kg}^{-1}\text{)}$

b_ ver partes b y c de ejercicio 26.

c_ La diferenciación de ramas y de hojas se determina en la primera etapa de crecimiento, por lo que la duración de ésta determina el número de ramificaciones y hojas en la planta, afectando la duración de todo el ciclo del cultivo. Por cada día que se prolongue esta primera etapa, se alarga 3 días todo el ciclo. El N promueve la ramificación y expansión de las hojas en crecimiento. Afecta la relación fuente/fosa, por lo que una alta fertilización al comienzo del cultivo, puede provocar que se alargue la primera etapa y por tanto todo el ciclo.

d_ Al despuntar o capar la planta de tomate estamos quitando fosa y por tanto alterando la relación fuente/fosa de la planta. Lo que se corta son órganos jóvenes en activo crecimiento que no vamos a cosechar (esta práctica se realiza una vez que ya tenemos decidido el fin del cultivo), y que están compitiendo con los frutos cuajados. Se aumenta de esta manera la disponibilidad de asimilados para los nuevos frutos.