

Fenología y producción de materia seca en variedades de frijol arbustivo de diferente hábito de crecimiento

Phenology and dry matter production in bush bean varieties of different growth habit

Rogelio Lépiz Ildelfonso[✉], Iris Etelvina Chavarín Espinoza y Eduardo Rodríguez Guzmán

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias.

Camino Ing. Ramón Padilla Sánchez
No. 2100, La Venta del Astillero,
Zapopan 45221, Jalisco, México.
☎ 3777-1150, ext. 33190.

✉ rlepiz@cucba.udg.mx

Citar

Resumen

Se estableció un ensayo de variedades de frijol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.) de diferente hábito de crecimiento, para determinar los tiempos y duración de sus etapas de desarrollo y la acumulación de materia seca. Las variedades fueron “Peruano Mostaza” de hábito de crecimiento determinado tipo I, “Palomo” de hábito indeterminado erecto tipo II y “Azufrado Tapatío” de crecimiento indeterminado postrado tipo III. Se sembraron en un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones, se registraron las etapas de desarrollo y se practicaron muestreos de materia seca al inicio de cada etapa a partir de la primera hoja trifoliada. Se construyeron las curvas de acumulación de peso seco y se obtuvieron las tasas de crecimiento entre etapas fenológicas. Las variedades mostraron un ciclo biológico similar entre 88 y 93 días después de la siembra y diferencias entre sí en alcanzar algunas etapas de desarrollo. La producción de materia seca entre variedades, presentó diferencias en algunas etapas del cultivo. “Peruano Mostaza” fue superior en primera y segunda hoja trifoliada, “Palomo” en prefloración y floración y “Azufrado Tapatío” registró la mayor producción de biomasa en la etapa de madurez fisiológica. Al desagregar la producción de materia seca, las estructuras vegetativas y reproductivas pre-

sentaron un incremento hasta el llenado de vainas; de llenado de vainas a madurez fisiológica la parte vegetativa descendió y la parte reproductiva se incrementó. La tasa de crecimiento ($\text{gdía}^{-1}\text{m}^{-2}$) mostró resultados similares a lo observado en producción de materia seca; la variedad “Peruano Mostaza” expresó su mayor tasa de crecimiento en el periodo de tercera hoja trifoliada a prefloración ($9.13 \text{gdía}^{-1}\text{m}^{-2}$), el cultivar “Palomo”, entre prefloración a floración ($12.0 \text{gdía}^{-1}\text{m}^{-2}$) y “Azufrado Tapatío” en el periodo de floración a formación de vainas ($12.27 \text{gdía}^{-1}\text{m}^{-2}$).

Palabras clave: *Phaseolus vulgaris* L., etapas de desarrollo, biomasa, Leguminosae, Fabaceae.

Abstract

A trial was established using varieties of bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) characterized by different growth habits to determine the times and duration of their developmental stages and dry matter accumulation. The varieties were “Peruano Mostaza”, determinate growth habit type I; “Palomo”, indeterminate erect habit type II; and “Azufrado Tapatío”, indeterminate prostrated growth habit type III. All three varieties were sown in a randomized complete-block design with 3 replications. Recordings included (1) the developmental stages; and, (2) sam-

plings of dry matter taken at the onset of each stage from the first trifoliolate leaf. Dry weight accumulation curves were elaborated and the growth rates between successive phenological stages were obtained. These varieties showed a similar life-cycle of 88-to-93 days after sowing, but differences in reaching some stages of development. Dry matter production among the varieties presented differences in some stages of growth. “Peruano Mostaza” was superior in the first and second trifoliolate leaves, “Palomo” at pre-flowering and flowering, while “Azufrado Tapatío” registered the highest production of biomass upon reaching physiological maturity. Disaggregation of the dry matter,

vegetative, and reproductive structures showed an increase up to the stage of pod-filling, but from pod-filling to physiological maturity the vegetative part decreased and the reproductive part increased. Growth rates ($\text{gday}^{-1}\text{m}^2^{-1}$) showed similar results to those observed in dry matter production; the variety “Peruano Mostaza” had its highest growth rate in the third trifoliolate leaf-to-pre-flowering period ($9.13 \text{ gday}^{-1}\text{m}^2^{-1}$); “Palomo” from pre-flowering to flowering ($12.0 \text{ gday}^{-1}\text{m}^2^{-1}$); and “Azufrado Tapatío” in the flowering-to-pod-formation period ($12.27 \text{ gday}^{-1}\text{m}^2^{-1}$).

Key words: *Phaseolus vulgaris* L., stages of development, biomass, Leguminosae, Fabaceae.

Introducción

Durante el ciclo biológico de una planta, se presentan cambios morfológicos y fisiológicos que sirven de base para identificar las diferentes etapas o estadios por los que transita un cultivo durante su crecimiento y desarrollo. El desarrollo se refiere al proceso de diferenciación o de cambios estructurales durante el ciclo biológico, tales como emergencia, tercer nudo, inicio de floración, etcétera. Por su parte, el crecimiento se refiere al fenómeno cuantitativo y acumulativo al paso del tiempo de número de hojas, número de nudos, número de vainas, materia seca, etcétera (Kohashi-Shibata 1991; White 1991; Elías & Castellví 1996).

En genotipos de una especie como el frijol, de diferente hábito de crecimiento o ciclo biológico, una etapa de desarrollo determinada puede ocurrir en diferente tiempo (Fehr *et al.* 1971; Fernández *et al.* 1991) por efectos genéticos (hábito de crecimiento, ciclo vegetativo), pero también por factores del medio ambiente (tipo y calidad de suelo, elementos del clima, fotoperiodo); la interacción de estos factores puede modificar el momento en que un genotipo alcance un esta-

Introduction

During their life-cycle plants undergo morphological and physiological changes that allow us to identify the different stages or phases through which a crop passes during growth and development. Growth refers to a quantitative and accumulative phenomenon over time that involves the number of leaves, nodes and pods, and dry matter production, etcetera (Kohashi-Shibata 1991; White 1991; Elías & Castellví 1996). Development, in contrast, refers to the process of structural differentiation or change during the life-cycle, including sprouting, third node, and onset of flowering, etcetera.

In genotypes of species like beans that have different growth habits or life-cycles, a certain developmental stage can occur at different times (Fehr *et al.* 1971; Fernández *et al.* 1991) due to both genetic effects (growth habit, vegetative cycle) and environmental factors (eg. soil type and quality, climatic elements, photoperiod). The interaction of these factors can modify the moment at which a particular genotype reaches a specific developmental stage (Elías & Castellví 1996; Galindo & Clavijo 2009), so when refer-

dio de desarrollo determinado (Elías & Castellví 1996; Galindo & Clavijo 2009). Por lo anterior, referirse a una etapa de desarrollo para la realización de una práctica agronómica o para la aplicación de un tratamiento al cultivo, es más adecuado que referirse a los días transcurridos después de la siembra (Fehr *et al.* 1971. Fernández *et al.* 1991; Meier *et al.* 2009).

La escala fenológica aceptada y utilizada por la mayor parte de los programas de frijol de América y del Viejo Continente (Escalante & Kohashi-Shibata 1993), describe diez etapas sucesivas y se basa en la morfología de la planta y en los cambios fisiológicos que se suceden durante el desarrollo del frijol (Fernández *et al.* 1991). Las etapas se agrupan en dos grandes fases: vegetativa (5 estadios) y reproductiva (5 estadios). La escala desarrollada para frijol, es similar a la escala utilizada en el cultivo de la soya; por el hábito de crecimiento de la soya, la escala es más extendida y contempla seis estadios correspondientes a la fase vegetativa y ocho a la fase reproductiva (Fehr *et al.* 1971). Por su parte el sistema de codificación BBCH (iniciales de las palabras alemanas *Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry*) propuesto para casi todas las plantas cultivadas, anuales y perennes, considera también diez estadios principales de desarrollo, con adición de etapas secundarias dentro de cada estadio principal, para describir con mayor precisión etapas cortas, dando como resultado un código de dos cifras (Meier *et al.* 2009).

De acuerdo con Fernández *et al.* (1991), la fase vegetativa en frijol da inicio cuando se le brinda a la semilla las condiciones para iniciar la germinación y termina cuando aparecen los primeros botones florales. En esta fase se desarrollan las estructuras vegetativas necesarias para la actividad reproductiva de la planta e incluye cinco estadios conocidos también como etapas de desarrollo: germinación (V0), emergencia (V1), hojas primarias (V2), primera hoja trifoliada (V3) y tercera hoja trifoliada (V4). La fase reproductiva se inicia con la aparición de los botones florales y termina cuando la planta llega a madurez fisiológica; incluye cinco estadios: prefloración (R5), floración (R6), formación de vainas (R7), llenado de vainas (R8) y madurez fisiológica (R9). En las plantas de frijol de hábito

ring to a developmental stage for carrying out an agricultural practice or applying a crop treatment it is best to refer to the days elapsed after planting (Fehr *et al.* 1971; Fernández *et al.* 1991; Meier *et al.* 2009).

The phenological scale that is widely accepted and utilized by most programs for American and European bean species (Escalante & Kohashi-Shibata 1993) describes ten successive stages based on plant morphology and the physiological changes that occur during bean development (Fernández *et al.* 1991). These stages are grouped into two broad phases, vegetative and reproductive, each with 5 states. The scale elaborated for beans is similar to the one used for soya, though the latter is more extensive as it includes six and eight states in the vegetative and reproductive phases, respectively (Fehr *et al.* 1971). The BBCH coding system (from the German *Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry*) applied to almost all annual and perennial cultivated plants also has ten principal stages of development, but adds secondary stages within each main one to describe small changes more precisely; this results in a 2-digit code (Meier *et al.* 2009).

According to Fernández *et al.* (1991), in beans the vegetative phase begins when the seeds encounter the conditions necessary to commence germination, and ends when the first floral blossoms appear. This is the phase in which the vegetative structures that the plant requires for reproduction develop. It includes five states also called developmental stages: germination (V0), sprouting (V1), primary leaves (V2), first trifoliolate leaf (V3), and third trifoliolate leaf (V4). The reproductive phase begins with the appearance of floral blossoms, and ends when the plant reaches physiological maturity. It also includes five states: pre-flowering (R5), flowering (R6), pod-formation (R7), pod-filling (R8), and physiological maturity (R9). In bean plants with an indeterminate growth habit the appearance of vegetative structures continues after onset of the reproductive phase, so in plants of this type it is possible that some developmental stages will show simultaneous production of leaves, branches, stems, flowers and pods (Fernández *et al.* 1991, Escalante and Kohashi-Shibata 1993).

de crecimiento indeterminado, continúa la aparición de estructuras vegetativas cuando se inicia la fase reproductiva; en una planta de este tipo es posible que en algunas etapas de desarrollo se estén produciendo simultáneamente hojas, ramas, tallo, flores y vainas (Fernández *et al.* 1991, Escalante y Kohashi-Shibata 1993). Cada etapa comienza en un evento del desarrollo de la planta cuyo nombre la identifica y termina donde se inicia la siguiente. Cuando se trata de una población, se declara iniciada una etapa de desarrollo, cuando el 50 % de las plantas presentan tal condición. En los trabajos agronómicos como soya y frijol, suele registrarse también la madurez de cosecha, evento posterior que ocurre cuando las plantas presentan condiciones apropiadas de secado para su cosecha y trilla (Fernández *et al.* 1991; Lépiz *et al.* 2015).

En frijol, el rendimiento biológico medido a través de la materia seca o del rendimiento económico evaluado por la producción de grano, está determinado por el genotipo e influenciado por factores del medio (Fernández *et al.* 1991; Escalante & Kohashi-Shibata 1993). Se ha establecido que una variedad con mayor ciclo biológico y mayor tiempo de fotosíntesis, tiene una mayor producción de materia seca y en general, un mayor rendimiento de grano. Igualmente, se sabe que las tasas de crecimiento son sensibles a los cambios ambientales provocados por las prácticas agronómicas o por los factores del clima como la temperatura y el fotoperiodo (Kohashi-Shibata 1991; White 1991; Elías & Castellví, 1996).

Por su parte, el análisis del crecimiento a través de muestras secuenciales y acumulativas del peso seco de la planta, describe el crecimiento de un cultivo a través de sus etapas de desarrollo. Los análisis de crecimiento demostraron ser útiles en describir la plasticidad del cultivo, su respuesta a la aplicación de insumos, a cambios ambientales y así también, para determinar diferencias entre cultivares (Araújo *et al.* 2009).

En el frijol, la producción y acumulación de materia seca bajo condiciones no deficitarias, registra una tendencia de curva sigmoidea; una fase de crecimiento lento entre la emergencia (V1) y tercera hoja trifoliada (V4), un crecimiento ac-

Each stage begins with an event in plant development whose name identifies it, and ends when the following stage begins. When examining a population, a developmental stage is said to have begun when 50% of the individual plants present the required condition. Agronomic studies of soya and beans usually record crop maturity as well, a later event recognized when the plants show the appropriate drying condition for harvesting and threshing (Fernández *et al.* 1991; Lépiz *et al.* 2015).

The biological and economic yields of beans, measured by the amount of dry matter and grain production, respectively, depend on genotype, but can also be affected by environmental factors (Fernández *et al.* 1991; Escalante & Kohashi-Shibata 1993). Studies have established that varieties with longer life-cycles and photosynthesis periods have greater dry matter production and, usually, larger grain yields. It is also clear that growth rates are sensitive to environmental changes caused by agronomic practices or climatic factors such as temperature and photoperiod (Kohashi-Shibata 1991; White 1991; Elías & Castellví, 1996).

Analyses of growth based on sequential and cumulative samples of plant dry weight describe crop growth based on developmental stages. Growth analyses have proven to be useful in describing crop plasticity, responses to the application of inputs and environmental change, and in determining differences among cultivars (Araújo *et al.* 2009).

In beans, dry matter production and accumulation under non-deficitary conditions shows a curve with a sigmoidal tendency; that is, a phase of slow growth between sprouting (V1) and the third trifoliolate leaf (V4), active growth from pre-flowering (R5) to pod-filling (R8), and a stage with less accumulation between R8 and physiological maturity (R9) due to senescence and the loss of such organs as leaves, flowers and abortive pods (White & Izquierdo 1991; Kohashi-Shibata 1991; Silva *et al.* 2005).

The varieties registered for commercial bean production include cultivars with different growth habits and vegetative cycles. Although

tivo entre prefloración (R5) y llenado de vainas (R8) y una etapa de menor acumulación entre R8 y madurez fisiológica (R9) por la senescencia y pérdida de órganos como hojas, flores y vainas abortivas. (White & Izquierdo 1991; Kohashi-Shibata 1991; Silva *et al.* 2005).

Entre las variedades registradas para la producción comercial de frijol, se cuenta con cultivos de diferente hábito de crecimiento y ciclo vegetativo. No obstante que las nuevas variedades y líneas avanzadas cuentan con información relativa a sus caracteres morfológicos y agronómicos, se hace necesario conocer su fenología y características de acumulación de materia seca durante su desarrollo, para lograr un mejor manejo del cultivo. Si se considera lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar el tiempo de ocurrencia y duración de las etapas de desarrollo y la acumulación de materia seca de variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de diferente hábito de crecimiento.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en Las Agujas, Municipio de Zapopan, Jalisco, sitio ubicado a los 20° 44' N y 103° 30' O y a 1 578 m de elevación; con clima semicálido subhúmedo (Medina *et al.* 1998), con temperatura de 19.6 °C y precipitación media anual de 979.6 mm. Los suelos son de tipo regosol éutrico de mediana fertilidad, libres de sales y un pH ácido con rango de 4.5 a 5.5.

Los materiales genéticos que se utilizaron fueron “Peruano Mostaza” de hábito determinado arbustivo tipo I, “Palomo” de hábito indeterminado arbustivo erecto tipo II y “Azufrado Tapatío” de hábito indeterminado arbustivo postrado guía corta tipo III (para la determinación de los hábitos de crecimiento y su tipo, véase Fernández *et al.* 1991). La parcela experimental fue de cuatro surcos, de 70 cm de ancho y 5 m de longitud. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La siembra se realizó el 29 de julio bajo condiciones de temporal y el ensayo se condujo bajo el manejo agronómico recomendado para una producción comercial de frijol (Lépiz *et al.* 2015). Se registraron las etapas de desarrollo descritas

we have information on the morphological and agronomic characteristics of new varieties and advanced lines, it is also necessary to know their phenology and properties of dry matter accumulation during development in order to optimize crop management. In light of these observations, the objective of this study was to determine the onset and duration of the developmental stages and dry matter accumulation of three common varieties of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) that have different growth habits.

Materials and Methods

The experiment was conducted in the community of Las Agujas, Municipality of Zapopan, state of Jalisco, Mexico; located at 20° 44' N and 103° 30' OR and an elevation of 1,578 m.a.s.l. The climate is semi-warm and sub-humid (Medina *et al.* 1998), with a mean annual temperature of 19.6°C and mean annual precipitation of 979.6 mm. Soils are of the Eutric Regosol type with medium fertility, free of salts, and an acid pH in the range of 4.5–5.5.

The genetic materials used were “Peruano Mostaza”, determinate bush habit type I; “Palomo”, indeterminate bush erect habit type II; and “Azufrado Tapatío”, indeterminate prostrate bush short pod habit type III (on the classification of growth habits and types, see Fernández *et al.* 1991). The experimental plot included four furrows, each 70 cm wide and 5 m long. A randomized complete-block experimental design was used and three replications were made. Planting took place on July 29 under temporal conditions, and the trial was conducted following recommended agronomic management practices for commercial bean production (Lépiz *et al.* 2015). Developmental stages were recorded following Fernández *et al.* (1991). Seven samplings of dry matter were carried out with ten plants chosen randomly per plot beginning at the first trifoliolate leaf. The plants were taken at a constant weight in a drying oven.

Using the initial and final days of each developmental stage, phenological graphs were drawn for each variety, while the dry weight values were plotted on graphs of dry matter accu-

por Fernández *et al.* (1991). Se realizaron siete muestreos de materia seca a partir de la primera hoja trifoliada, de diez plantas al azar por parcela; las plantas se llevaron a peso constante en una estufa de secado.

Con los días de inicio y fin de cada una de las etapas de desarrollo, se elaboraron gráficas fenológicas de cada variedad y con los valores de peso seco se construyeron gráficas de acumulación de materia seca de las variedades durante el ciclo biológico. Así mismo, con los valores de materia seca y el número de días transcurridos entre una fase y la siguiente, se calcularon las tasas de producción de materia seca ($gdía^{-1}m^{-2}$) para siete periodos consecutivos, para cada una de las tres variedades. Las tasas de crecimiento se calcularon según White 1991; Kohashi-Shibata 1996; Escalante & Kohashi-Shibata 1993. Se practicaron análisis de varianza para las variables cuantitativas y comparaciones entre promedios utilizando la Diferencia Mínima Significativa (DMS).

Resultados y discusión

Etapas de desarrollo

Los tres cultivares de diferente hábito de crecimiento registraron un ciclo biológico similar. El cultivar “Peruano Mostaza” de hábito tipo I, registró el mayor tiempo, 93 días de siembra a madurez; “Palomo”, 88 días y “Azufrado Tapatío”, 90 días (Figura 1). Por el hábito de crecimiento de las variedades, se esperaba un comportamiento en duración del ciclo biológico de menor a mayor en el orden de “Peruano Mostaza”, “Palomo”

mulation elaborated for each variety during its life-cycle. Also, based on the values for dry matter and the number of days elapsed between one state and the next, dry matter production rates of ($gday^{-1}m^{-2}$) were calculated for seven consecutive periods for each variety. Growth rates were calculated following White 1991, Kohashi-Shibata 1996, and Escalante & Kohashi-Shibata 1993. Analyses of variance were performed for the quantitative variables with comparisons of means to determine Least Significant Differences (LSD).

Results and Discussion

Developmental stages

Although the three cultivars had different growth habits, their life-cycles were similar. “Peruano Mostaza” –habit type I– had the longest time from sowing to maturity, 93 days; while the varieties “Palomo” and “Azufrado Tapatío” had 88 and 90 days, respectively (Figure 1). With respect to their growth habits we expected to find the following order of life-cycle duration from shortest to longest: “Peruano Mostaza”, “Palomo” and “Azufrado Tapatío” (Lépiz 1983; Fernández *et al.* 1991; Voysest 1991; Rosales *et al.* 2004). According to Lépiz (1983), and based on the mean of more than six varieties by habit type from the area of Tepatitlán, Jalisco, days to physiological maturity for the three habits should be: 88, 100 and 100, respectively. In the present study, “Peruano Mostaza” –habit type I– showed the largest number of days to physiological maturity.

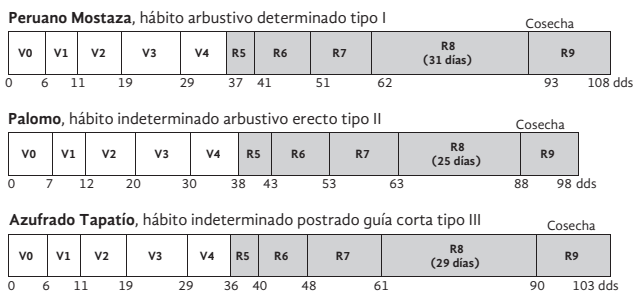


Figura 1. Etapas de desarrollo de las variedades de frijol expresadas de manera gráfica en número de días después de la siembra (dds). V0, germinación; emergencia (V1); hojas primarias (V2); primera hoja trifoliada (V3); tercera hoja trifoliada (V4); prefloración (R5); floración (R6); formación de vainas (R7); llenado de vainas (R8) y madurez fisiológica (R9).

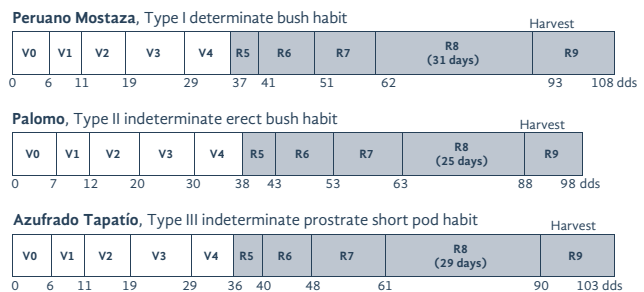


Figure 1. Developmental stages of three bean varieties expressed graphically by number of days after sowing (dds); germination (V0); sprouting (V1); primary leaves (V2); first trifoliolate leaf (V3); third trifoliolate leaf (V4); pre-flowering (R5); flowering (R6); pod-formation (R7); pod-filling (R8), and physiological maturity (R9).

y “Azufrado Tapatío” (Lépiz 1983; Fernández *et al.* 1991; Voysest 1991; Rosales *et al.* 2004). De acuerdo con Lépiz (1983) y con base al promedio de más de seis variedades por tipo de hábito y para el área de Tepatlán, Jalisco, los días a madurez fisiológica para los tres hábitos, debería ser de 88, 100 y 100. En este trabajo “Peruano Mostaza” de hábito tipo I registró el mayor número de días a madurez fisiológica.

El resultado sugiere que dentro del hábito de crecimiento tipo I hay variabilidad genética en cuanto a ciclo vegetativo y que es posible seleccionar y desarrollar cultivares con mayor ciclo vegetativo, con mayor tiempo para realizar fotosíntesis, factor que puede incrementar el rendimiento de materia seca y de grano (Laing *et al.* 1984, citados por White & Izquierdo 1991). Esta posibilidad se pone de manifiesto en “Peruano Mostaza”, de hábito determinado, con mayor ciclo en relación a las variedades tradicionales de hábito I como “Canario 107” y “Bayomex”, cultivares con 36 días a floración y 85 días a madurez fisiológica (Lépiz 1983; Alemán-Martínez *et al.* 1996).

Los resultados mostraron también que el tiempo en alcanzar alguna etapa de desarrollo fenológico, fue diferente entre variedades (Figura 1). “Palomo”, registró un retraso en su desarrollo vegetativo, alcanzado la floración en 43 días, dos días después de “Azufrado Tapatío”; en la etapa de llenado de vainas, “Palomo” requirió solo de 25 días, alcanzando la etapa R9 en solo 88 días. En la misma etapa de llenado de vainas, “Peruano Mostaza” y “Azufrado Tapatío”, necesitaron de 31 y 29 días respectivamente, incrementando así el tiempo a madurez fisiológica; ambos de hábito de crecimiento diferente, mostraron un comportamiento fenológico similar.

En relación al efecto del medio ambiente sobre el comportamiento fenológico de las variedades de frijol utilizadas, se puede afirmar que en el estudio presente los factores ambientales (tipo y calidad de suelo, elementos del clima, fotoperiodo), tuvieron un efecto similar sobre la duración de las etapas de desarrollo. La afirmación se basa en que las tres variedades se sembraron en el mismo sitio, el mismo día y con un manejo agronómico uniforme, donde las variaciones

This result suggests that there is genetic variability in the vegetative cycle of growth habit type I, and that it is possible to select and develop cultivars with longer vegetative cycles that will have more time to carry out photosynthesis; a factor that could increase dry matter production and grain yields (Laing *et al.* 1984, cited in White & Izquierdo 1991). This possibility was observed in “Peruano Mostaza” (determinate habit), for it had a longer cycle than such traditional habit I varieties as “Canario 107” and “Bayomex”, cultivars with 36 days to flowering and 85 to physiological maturity (Lépiz 1983; Alemán-Martínez *et al.* 1996).

These findings also show that the time required to reach a particular stage of phenological development differed among varieties (Figure 1). “Palomo” showed a delay in vegetative development as it reached flowering in 43 days, two days later than “Azufrado Tapatío”; while for the pod-filling stage “Palomo” needed only 25 days, and reached stage R9 in just 88 days. In contrast, “Peruano Mostaza” and “Azufrado Tapatío” needed 31 and 29 days, respectively, to reach the pod-filling stage and, therefore, took longer to achieve physiological maturity. Despite their different growth habits, these two varieties showed similar phenological behavior.

In relation to environmental effects on the phenological behavior of the beans varieties studied, it is clear that environmental factors (soil type and quality, climatic elements, photoperiod) had similar effects on the duration of the developmental stages. This affirmation is based on the fact that all three varieties were sown at the same site on the same day and cared for with uniform agronomic management practices to ensure that any environmental variations that occurred during the growing season would affect all three genotypes equally.

Total dry matter

In the seven developmental stages that were quantified, the dry matter content at the onset of each stage showed significant differences among varieties, except for the pod-filling stage (Table 1). Differences were highly significant in the flowering and physiological maturity stages. The coefficients of variation ranged from 2.19-

Cuadro 1. Parámetros estadísticos de los análisis de varianza del contenido de materia seca (g10pl^{-1}) en variedades de frijol, registrado al inicio de las etapas de desarrollo a partir de la primera hoja trifoliada (V3).

Etapas de desarrollo	Cuadro Medio	Valor de F	Probabilidad Error	Coefficiente Variación (%)
Primera hoja trifoliada (V3)	53.30	11.68	0.0214*	6.66
Tercera hoja trifoliada (V4)	130.58	8.45	0.0366*	6.03
Prefloración (R5)	3681.08	9.04	0.0328*	14.90
Etapas de floración (R6)	4462.61	151.98	0.0002**	3.18
Formación de vainas (R7)	3810.56	10.68	0.0249*	8.56
Llenado de vainas (R8)	1863.77	1.15	0.4038	13.12
Madurez fisiológica (R9)	2058.70	34.84	0.0029**	2.19

* Diferencias significativas al 5% de probabilidad de error ($P \leq 0.05$).

** Diferencias altamente significativas al 0.01% de probabilidad de error ($P \leq 0.01$).

ambientales que pudieron ocurrir durante la estación de crecimiento, afectaron por igual a los tres genotipos.

Materia seca total

En las siete etapas de desarrollo en que se cuantificó el contenido de materia seca al inicio de cada estadio, se encontraron diferencias significativas entre las variedades, excepto en la etapa de llenado de vainas (Cuadro 1). Las diferencias fueron altamente significativas en las etapas de Floración y madurez fisiológica. Los coeficientes de variación estuvieron en el rango de 2.19 a 14.90 %, por lo que el trabajo de estimación del contenido de materia seca en cada una de las etapas de desarrollo de las variedades de frijol estudiadas, se considera aceptable. Los promedios de materia seca producida en cada una de las siete etapas de desarrollo y la comparación estadística entre variedades (Cuadro 2), muestran que en las primeras tres etapas fenológicas (V3, V4 y R5), “Peruano Mostaza” registró mayor acumulación de biomasa. En las etapas R6 y R7, “Palomo” incrementó significativamente el peso seco en relación a las otras dos variedades. En la etapa fenológica de R8 (llenado de vainas), las tres variedades registraron pesos iguales y finalmente en madurez fisiológica (R9), “Peruano Mostaza” y “Azufrado Tapatío”, superaron en producción de materia seca a la variedad “Palomo”. En las etapas intermedias “Peruano Mostaza” mostró

Table 1. Statistical parameters of the analysis of variance of dry matter content (g10pl^{-1}) in bean varieties recorded at the onset of developmental stages from the first trifoliolate leaf (V3).

Developmental stages	Average chart	F value	Probability of error	Coefficient of variation (%)
First trifoliolate leaf (V3)	53.30	11.68	0.0214*	6.66
Third trifoliolate leaf (V4)	130.58	8.45	0.0366*	6.03
Pre-flowering (R5)	3681.08	9.04	0.0328*	14.90
Flowering (R6)	4462.61	151.98	0.0002**	3.18
Pod-formation (R7)	3810.56	10.68	0.0249*	8.56
Pod-filling (R8)	1863.77	1.15	0.4038	13.12
Physiological maturity (R9)	2058.70	34.84	0.0029**	2.19

* Significant differences at 5% of probability of error ($P \leq 0.05$).

** Highly significant differences at 0.01% of probability of error ($P \leq 0.01$).

14.90%, so the estimates of dry matter content in each developmental stage of the bean varieties studied are considered acceptable. The mean dry matter produced in each one of the seven developmental stages and the statistical comparison of the varieties (Table 2) show that in the first three phenological stages (V3, V4, R5), “Peruano Mostaza” had the largest accumulation of biomass. In stages R6 and R7, the dry weight of “Palomo” increased significantly in relation to the other two varieties, while in phenological stage R8 (pod-filling) the three varieties had equal weights. Finally, in the stage of physiological maturity (R9), “Peruano Mostaza” and “Azufrado Tapatío” surpassed “Palomo” in dry matter production. In the intermediate stages, “Peruano Mostaza” showed a lower than expected value for damage due to *Alternaria* spp., a fungal disease that causes premature falling of the lower leaves.

Figure 2 presents a graphic representation of the results of dry matter accumulation by variety for each phenological stage sampled. This graph shows the generally-expected behavior; i.e., slow growth from V3-to-V4; active growth from R5-to-R8; and a decrease in biomass accumulation from R8-to-R9, except in “Peruano Mostaza”. These results agree with those from White & Izquierdo (1991), Kohashi-Shibata (1991) and Silva *et al.* (2005), since the dynamic of dry mat-

Cuadro 2. Contenido de materia seca (g10pl⁻¹) y comparación de promedios por etapas de desarrollo entre variedades de frijol.

Etapas fenológicas	Peruano Mostaza	Palomo	Azufrado Tapatío	Media	DMS 0.05
Primera hoja trifoliada (V3)*	36.70 (a)	28.43 (b)	31.13 (b)	32.09	4.84
Tercera hoja trifoliada (V4)*	72.07 (a)	58.90 (b)	64.73 (ab)	65.23	8.91
Prefloración (R5)*	172.8 (a)	130.0 (ab)	103.4 (b)	135.42	45.74
Etapas de floración (R6)**	198.7 (b)	214.5 (a)	141.9 (c)	185.00	12.28
Formación de vainas (R7)*	210.7 (b)	260.3 (a)	191.1 (b)	220.68	42.82
Llenado de vainas (R8)	278.4 (a)	323.0 (a)	320.1 (a)	307.16	91.37
Madurez fisiológica (R9)	361.9 (a)	321.8 (b)	371.0 (a)	351.58	17.43

* Diferencias significativas al 5% de probabilidad de error ($P \leq 0.05$).

** Diferencias altamente significativas al 0.01% de probabilidad de error ($P \leq 0.01$).

Medias con letras iguales en cada fila, no son estadísticamente diferentes (DMS, 0.05).

Table 2. Dry matter content (g10pl⁻¹) and comparison of means by developmental stages among bean varieties.

Phenological stages	Peruano Mostaza	Palomo	Azufrado Tapatío	Mean	DMS 0.05
First trifoliolate leaf (V3)*	36.70 (a)	28.43 (b)	31.13 (b)	32.09	4.84
Third trifoliolate leaf (V4)*	72.07 (a)	58.90 (b)	64.73 (ab)	65.23	8.91
Pre-flowering (R5)*	172.8 (a)	130.0 (ab)	103.4 (b)	135.42	45.74
Flowering (R6)**	198.7 (b)	214.5 (a)	141.9 (c)	185.00	12.28
Pod-formation (R7)*	210.7 (b)	260.3 (a)	191.1 (b)	220.68	42.82
Pod-filling (R8)	278.4 (a)	323.0 (a)	320.1 (a)	307.16	91.37
Physiological maturity (R9)	361.9 (a)	321.8 (b)	371.0 (a)	351.58	17.43

* Significant differences at 5% of probability of error ($P \leq 0.05$).

** Highly significant differences at 0.01% of probability of error ($P \leq 0.01$).

Means with the same letters in each row are not statistically different (DMS, 0.05).

un valor menor a lo esperado por daño de *Alternaria* spp., enfermedad fungosa que ocasionó una caída prematura de las hojas inferiores.

Por su parte, la Figura 2 presenta de manera gráfica los resultados de materia seca acumulada por variedad en cada una de las etapas fenológicas muestreadas. La gráfica muestra el comportamiento general esperado: de V3 a V4, un crecimiento lento; de R5 a R8, un crecimiento activo; de R8 a R9, una reducción en la acumulación de biomasa, excepto en “Peruano Mostaza”. El resultado obtenido concuerda con lo consignado por White & Izquierdo (1991), Kohashi-Shibata (1991) y Silva *et al.* (2005), ya que la dinámica de acumulación de materia seca durante el desarrollo de una planta, sigue una tendencia similar a la curva clásica de crecimiento sigmoideal.

Los resultados muestran también el rápido establecimiento y producción acelerada de materia seca de “Peruano Mostaza”; se enfatiza este resultado, puesto que la literatura señala que un rá-

ter accumulation during plant development follows a tendency similar to the classic curve of sigmoidal growth.

These findings also reveal the rapid establishment and accelerated production of dry matter by “Peruano Mostaza”. We emphasize this result because the literature affirms that rapid crop establishment translates into increased biomass and, eventually, the production of photosynthates and grain yields (Adams 1973; White & Izquierdo 1991). Despite the fact that “Peruano Mostaza” had lower values in stages R6, R7 and R8 due to foliar damage caused by the fungal disease *Alternaria* spp., in the end (R9) the production of biomass by this variety of determinate habit surpassed “Palomo” and equaled “Azufrado Tapatío”.

The behavior of “Palomo” –indeterminate erect habit type II– also presented an interesting dynamic. It began its cycle with low dry matter production, showed a significant increase in

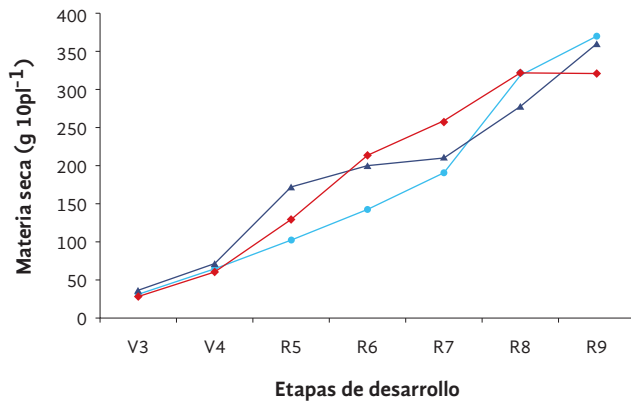


Figura 2. Acumulación de materia seca de variedades de frijol en siete etapas de desarrollo. ▲ Peruano Mostaza, ◆ Palomo y ● Azufrado Tapatío.

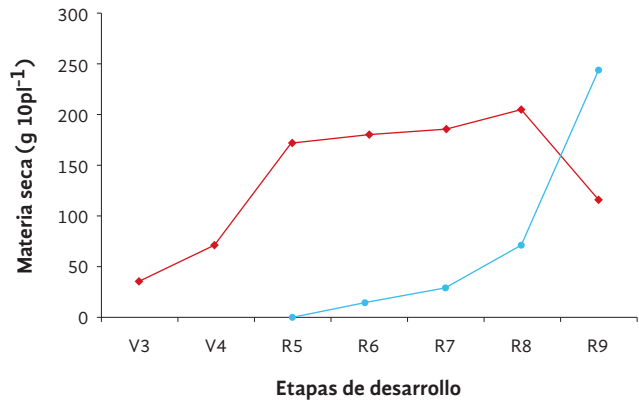


Figura 3. Acumulación de materia seca en órganos vegetativos (◆) y reproductivos (●) de la variedad de frijol Peruano Mostaza, en siete etapas de desarrollo.

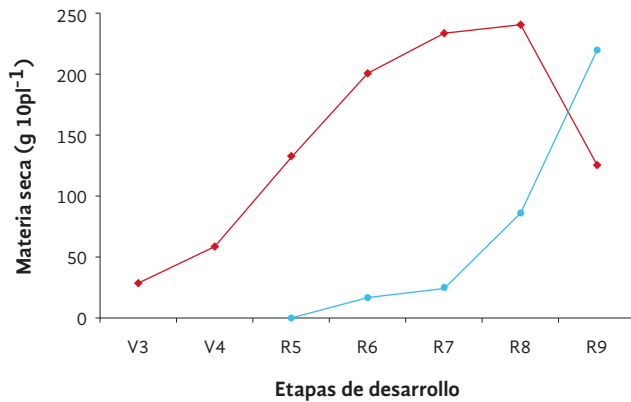


Figura 4. Acumulación de materia seca en órganos vegetativos (◆) y reproductivos (●) de la variedad de frijol Palomo, en siete etapas de desarrollo.

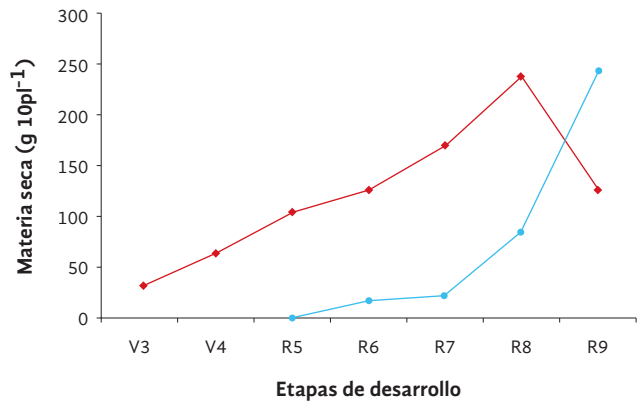


Figura 5. Acumulación de materia seca en órganos vegetativos (◆) y reproductivos (●) de la variedad de frijol Azufrado Tapatío, en siete etapas de desarrollo.

vido establecimiento del cultivo se traducirá en un incremento de la biomasa y eventualmente en la producción de fotosintatos y rendimiento de grano (Adams 1973; White & Izquierdo 1991). Esta variedad de hábito determinado que registró valores menores en las etapas R6, R7 y R8 por daño foliar de la enfermedad fungosa *Alternaria* spp., al final (R9) fue superior en producción de biomasa a “Palomo” e igual a la variedad “Azufrado Tapatío”.

El comportamiento de “Palomo”, variedad de hábito indeterminado erecto tipo II, también ofrece una dinámica de interés. Inició su ciclo con una producción baja de materia seca, en las etapas R6 y R7 mostró un incremento significativo y en la etapa de madurez (R9), redujo la producción de biomasa de manera importante (Cuadro 2 y Figura 2). La producción significa-

stages R6 and R7, and then significantly reduced biomass production in the stage of maturity (R9) (Table 2, Figure 2). The significantly lower production of dry matter by “Palomo” at the end of the cycle could be explained by less photosynthesis time between pod-filling and physiological maturity (25 days), and by the senescence and premature loss of leaves in the variety (Adams 1973; White & Izquierdo 1991).

Finally, “Azufrado Tapatío” –indeterminate prostrate habit type III– showed relatively slow dry weight accumulation up to flowering (R6), but increased production in the three final stages until it was statistically equal to “Peruano Mostaza”. Because of its indeterminate prostrate habit, short pod, and greater potential for biomass production (branches, leaves), it was expected to show greater dry matter accumulation com-

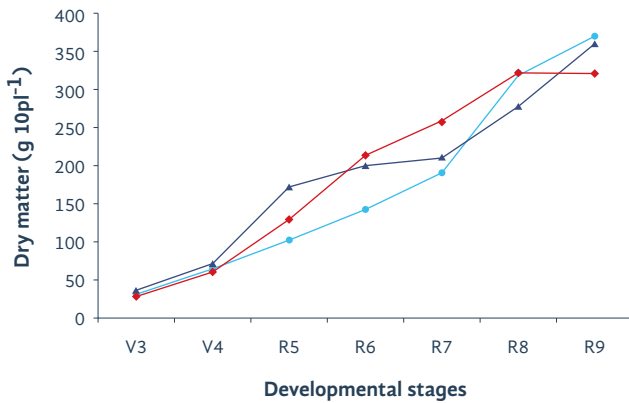


Figure 2. Accumulation of dry matter of bean varieties in seven developmental stages. ▲ Peruano Mostaza, ◆ Palomo y ● Azufrado Tapatío.

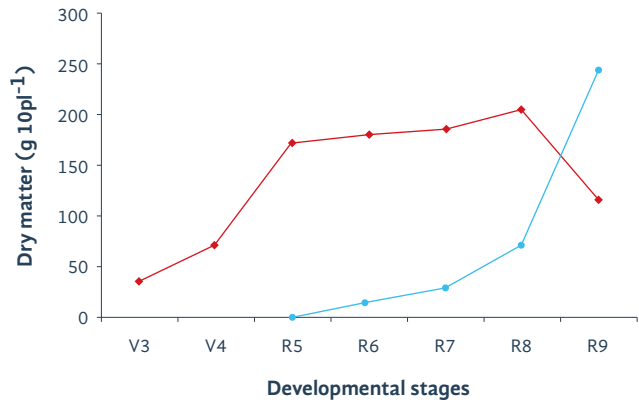


Figure 3. Accumulation of dry matter in the vegetative (◆) and reproductive (●) organs from the bean variety Peruano Mostaza, in seven developmental stages.

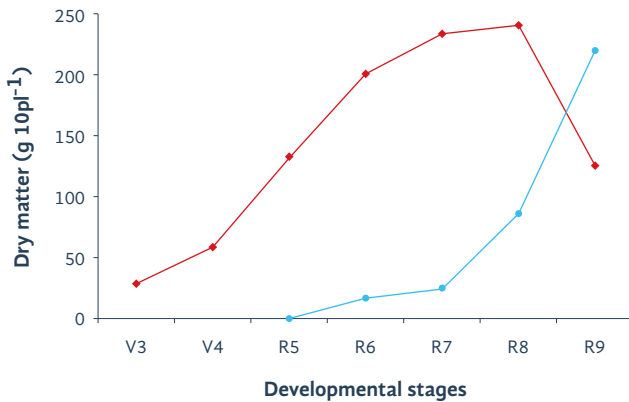


Figure 4. Dry matter accumulation in the vegetative (◆) and reproductive (●) organs from the bean variety Palomo, in seven developmental stages.

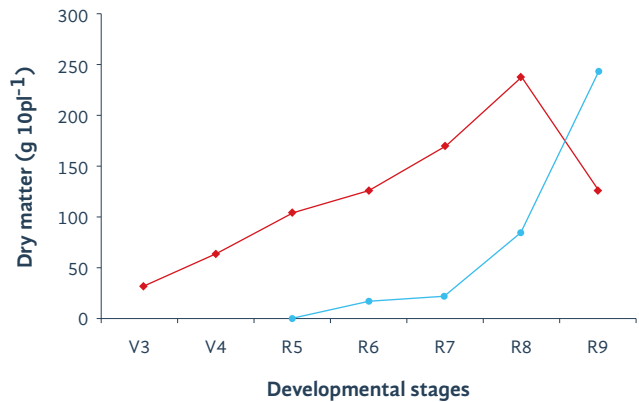


Figure 5. Dry matter accumulation in the vegetative (◆) and reproductive (●) organs from the bean variety Azufrado Tapatío, in seven developmental stages.

tivamente menor de materia seca de “Palomo” al final del ciclo, podría explicarse por su menor tiempo de fotosíntesis entre llenado de vainas y madurez fisiológica (25 días) y por la senescencia y caída adelantada de las hojas en esta variedad (Adams 1973; White & Izquierdo 1991).

Finalmente “Azufrado Tapatío” de hábito indeterminado postrado tipo III, presentó una acumulación de peso seco relativamente lenta hasta la floración (R6) e incrementó su producción en las tres etapas finales, resultando estadísticamente igual a “Peruano Mostaza”. Por su hábito indeterminado postrado guía corta y mayor potencial de producción de biomasa (ramas, hojas), se esperaba una mayor acumulación de materia seca en relación a los otros dos cultivares. El resultado podría explicarse por la igualdad del ciclo biológico entre “Peruano Mostaza” y “Azu-

pared to the other two crops. This result could be explained by the similarity in the life-cycles of “Peruano Mostaza” and “Azufrado Tapatío”, cultivars that had the same opportunity to produce biomass and accumulate photoassimilates. The similarity of the life-cycles of two materials with different growth habits may be due to the effect of the selection performed by the plant breeders, which has extended the life-cycle of generally precocious varieties of determinate habit like “Peruano Mostaza”, while shortening that of the usually longer indeterminate prostrate habit varieties like “Azufrado Tapatío” (López 1983; Fernández *et al.* 1991; Rosales *et al.* 2004) in order to adjust their life-cycles to the existing growth season.

frado Tapatío”, cultivares que tuvieron la misma oportunidad para producir biomasa y de acumular fotoasimilados. La igualdad de ciclo biológico entre dos materiales de diferente hábito de crecimiento, podría deberse al efecto de la selección practicada por los fitomejoradores, donde a las variedades de hábito determinado como “Peruano Mostaza” generalmente precoces, se les ha alargado el ciclo y a las de hábito indeterminado postrado como “Azufrado Tapatío” generalmente más tardías (Lépiz 1983; Fernández *et al.* 1991; Rosales *et al.* 2004), se les ha acortado, para ajustar su ciclo a la estación de crecimiento existente.

Crecimiento vegetativo y reproductivo

A partir de la etapa de floración (R6), el peso seco total de las variedades se desagregó en la parte vegetativa (hojas, tallos, ramas y raíces) y reproductiva (botones, flores y vainas) (Figuras 3, 4 y 5). En las tres variedades se observó un incremento en el peso seco de la parte vegetativa hasta la fase de llenado de vaina (R8). Posteriormente, de llenado de vainas a madurez fisiológica como era de esperarse, las tres variedades presentaron un marcado descenso (White & Izquierdo, 1991; Silva *et al.*, 2005). La declinación del peso seco de la parte vegetativa, tiene dos componentes principales: a) la translocación de fotoasimilados esencialmente de las hojas, a las estructuras reproductivas representadas por vainas y semillas; b) la senescencia y caída gradual principalmente de hojas al acercarse la madurez fisiológica (Kohashi-Shibata, 1991).

Por su parte, el peso seco de las estructuras reproductivas de las tres variedades, mostró dos etapas marcadas: entre prefloración (R5) y formación de vainas (R7), hubo un crecimiento moderado; entre las fases de formación de vainas (R7) a madurez fisiológica (R9), el incremento en peso seco de la parte reproductiva, fue muy pronunciado. Los resultados obtenidos al desagregar el peso seco de las estructuras vegetativas y reproductivas, son similares a lo reportado por White & Izquierdo (1991), Kohashi-Shibata (1991) y Silva *et al.*, (2005).

Tasa de crecimiento

Las tasa de crecimiento ($\text{gdía}^{-1}\text{m}^{-2}$) en seis periodos consecutivos medidos entre el inicio de

Vegetative and reproductive growth

Beginning with the flowering stage (R6), the total dry weight from the varieties was disaggregated into its vegetative (leaves, stems, branches and roots) and reproductive (blossoms, flowers and pods) parts (Figures 3, 4, 5). Up to the pod-filling state (R8) all three varieties showed increases in the dry weight of the vegetative part. Later, from pod-filling to physiological maturity, as expected, all three presented a marked decrease (White & Izquierdo, 1991; Silva *et al.*, 2005). The reduction of the dry weight of the vegetative part depends on two main components: a) the translocation of photoassimilates essentially from the leaves to the reproductive structures represented by pods and seeds; and, b) the senescence and gradual loss, primarily of leaves, upon approaching physiological maturity (Kohashi-Shibata, 1991).

Turning to the dry weight of the reproductive structures of the three varieties, the study determined two marked stages: from pre-flowering (R5) to pod-formation (R7) growth was moderate; but between the phases of pod-formation (R7) and physiological maturity (R9) the increase in dry weight of the reproductive part was very pronounced. The results obtained upon disaggregating the dry weight of the vegetative and reproductive structures are similar to those reported by White & Izquierdo (1991), Kohashi-Shibata (1991) and Silva *et al.* (2005).

Growth rates

The growth rates ($\text{gday}^{-1}\text{m}^{-2}$) in six consecutive periods measured from the onset of one developmental stage to the beginning of the next one showed marked differences in dry matter production between the developmental stages of the varieties, but not among genotypes in the same period (Figure 6). The highest values for growth rate were recorded in the intermediate periods V4-R5, R5-R6, R6-R7, and R7-R8, when bean growth was most active (Figure 6). The growth rates by period show a relation to dry matter content (g10pl^{-1}) per developmental stage among these bean varieties (Table 2) and clearly reveal their periods of greatest photosynthetic activity. This information reveals the critical stages during which these bean cultivars

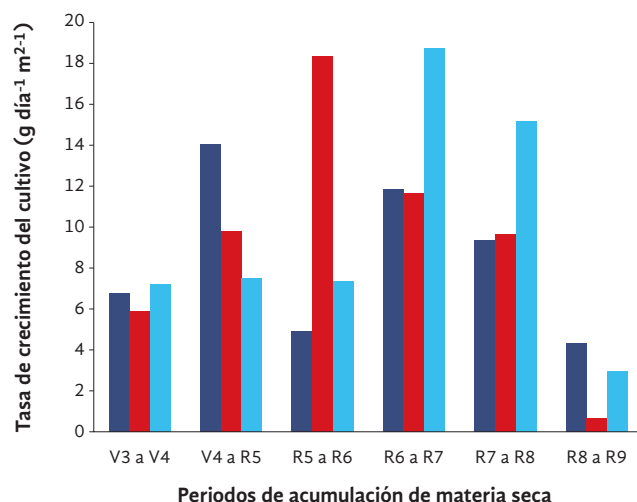


Figura 6. Tasa de crecimiento (gdía⁻¹m²⁻¹) durante seis etapas de desarrollo fenológico, en las variedades de frijol Peruano Mostaza (■), Palomo (■) y Azufrado Tapatío (■).

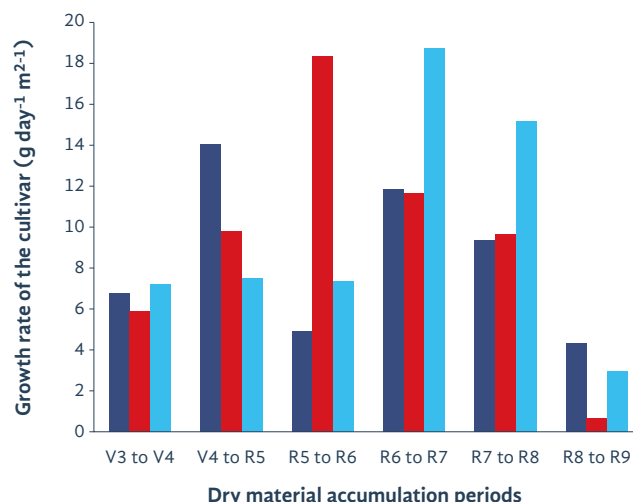


Figure 6. Growth rates (gday⁻¹m²⁻¹) during six stages of phenological development in the bean varieties Peruano Mostaza (■), Palomo (■) and Azufrado Tapatío (■).

una etapa de desarrollo y la siguiente, mostraron diferencias marcadas en la producción de materia seca entre etapas de desarrollo de las variedades, no así entre genotipos en un mismo periodo (Figura 6). Los mayores valores de tasa de crecimiento se registraron en los periodos intermedios V4 a R5, R5 a R6, R6 a R7 y R7 a R8, periodos donde el crecimiento del frijol fue más activo (Figura 6). Las tasas de crecimiento por periodo, muestran relación con el contenido de materia seca (g10pl⁻¹) por etapas de desarrollo entre variedades de frijol (Cuadro 2) y exponen de manera clara los periodos de mayor actividad fotosintética de las variedades utilizadas. Esta información pone de manifiesto las etapas críticas donde los cultivares de frijol deben disponer de los elementos necesarios para su crecimiento y desarrollo óptimos, tales como agua, nutrimentos, ausencia de daño de plagas y factores favorables del clima.

Al observar el comportamiento de las variedades, se aprecian ciertas tendencias en las tasas de acumulación de materia seca (Figura 6). “Peruano Mostaza” mostró una mayor tasa de crecimiento en sus primeras etapas, con mayor valor en el periodo V4 a R4 (13.86 gdía⁻¹m²⁻¹); “Palomo” registró su valor mayor en etapas intermedias, registrando su mayor tasa entre R5 a R6 (18.26 gdía⁻¹m²⁻¹) y “Azufrado Tapatío” en los periodos finales, con mayor valor de R6 a R7 (18.62 gdía⁻¹m²⁻¹). Las tasas máximas de

must have access to the elements necessary for optimal growth and development, including water, nutrients, freedom from damage by plagues, and favorable climatic conditions.

Upon observing the behavior of these varieties, certain tendencies in the rates of dry matter accumulation can be appreciated (Figure 6). “Peruano Mostaza” showed a higher growth rate in initial stages, attaining its highest value in the period V4-R4 (13.86 gday⁻¹m²⁻¹). “Palomo” registered its highest value in the intermediate stages with its maximum rate from R5-R6 (18.26 gday⁻¹m²⁻¹). Finally, “Azufrado Tapatío” grew more rapidly in the final periods, with a maximum value from R6-R7 (18.62 gday⁻¹m²⁻¹). The maximum growth rates obtained are similar to those reported for beans in the literature; i.e., from 16-18 gday⁻¹m²⁻¹ (White & Izquierdo, 1991).

Conclusions

Though the bean varieties “Peruano Mostaza”, “Palomo” and “Azufrado Tapatío” have different growth habits they showed a similar life-cycle of 88-to-93 days after planting, but differences in terms of reaching some developmental stages. In terms of total dry matter accumulation, these varieties showed slow growth up to the stage of the third trifoliolate leaf, accelerated growth be-

crecimiento obtenidas, son similares a las reportadas para frijol en la literatura, de entre 16 y 18 $\text{gdía}^{-1}\text{m}^{2-1}$ (White & Izquierdo, 1991).

Conclusiones

Las variedades de frijol “Peruano Mostaza”, “Palomo” y “Azufrado Tapatío” de hábito de crecimiento diferente, mostraron un ciclo biológico similar, entre 88 y 93 días después de la siembra y diferencias entre sí, para alcanzar algunas etapas de desarrollo. En acumulación de materia seca total, las variedades mostraron un crecimiento lento hasta la etapa de tercera hoja trifoliada, un crecimiento acelerado entre prefloración y llenado de vainas y un descenso al final del ciclo. Las variedades mostraron un incremento de peso seco en las estructuras vegetativas hasta llenado de vaina y un descenso marcado en madurez fisiológica. Las estructuras reproductivas presentaron un crecimiento moderado hasta formación de vainas y una acumulación acelerada entre formación de vainas y madurez fisiológica. En tasa de acumulación de materia seca “Peruano Mostaza” registró mayor producción de biomasa en las etapas de desarrollo iniciales, “Palomo” en etapas intermedias y “Azufrado Tapatío” en las etapas fenológicas finales. ❖

tween pre-flowering and pod-filling, and a decrease at the end of the cycle. They also showed an increase in the dry weight of the vegetative structures up to pod-filling, with a marked decrease at physiological maturity. The reproductive structures presented moderate growth up to pod-formation with an accelerated accumulation between pod-formation and physiological maturity. With respect to the rates of dry matter accumulation, “Peruano Mostaza” had the highest production of biomass in the initial stages of development, “Palomo” in the intermediate stages, and “Azufrado Tapatío” in the final phenological stages. ❖

Literatura citada | Literature cited

- ADAMS, M.W. 1973.** Plant architecture and physiological efficiency in the field bean. In: CIAT (Ed.). *Potentials of field beans and other food legumes in Latin America*. CIAT, Cali, Colombia. Series Seminars No. 2E. p. 266–278.
- ARAÚJO, J.R., M.A. PATTO, A.T. BRUZI & A.F. BARBOSA. (JUL/AGO) 2009.** Dry matter accumulation in genotypes of bean submitted to different levels of nitrogen. *Ciência e Agrotecnologia Lavras* 33(4): 985–992. [ISSN 1413-7054]
- ALEMÁN-MARTÍNEZ, V., S. NÚÑEZ, H. FLORES, P. ALEMÁN & J.J. ACEVES. 1996.** *Guía para producir frijol en los altos y centro de Jalisco*. Agenda Técnica No. 2. Campo Experimental Altos de Jalisco. INIFAP. Tepatitlán, Jalisco, México. 36 p. [ISBN 978-607-8336-60-9]
- ELÍAS, C.F. & F. CASTELLVÍ. 1996.** *Agrometeorología*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo (DMACS). Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria (ETSEA). Universidad de Lleida (UdL). España. 517 p. [ISBN: 84-7114-973-7]
- ESCALANTE, E.J.A. & J. KOHASHI-SHIBATA. 1993.** *El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para toma de datos*. Centro de Botánica. C.P. Montecillo, Estado de México. 84 p. [ISBN: 978-968-884-41-20]
- FEHR, W., C. CAVINESS, D. BURMOOD & J. PENNINGTON. 1971.** Stage of Development Descriptions for Soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Science*. 11, 929–931. [ISSN (print) 1435-0653; (Online) 0011-183X]
- FERNÁNDEZ, F., P. GEPTS & M. LÓPEZ. 1991.** *Etapas de desarrollo de la planta de Frijol*. En: López, M., F. Fernández y A. Schoonhoven (eds). *Frijol: Investigación y Producción*. CIAT, Cali, Colombia. p. 61–78. [ISBN: 84-89206-54-6]
- GALINDO, P.J.R. & J. CLAVIJO. 2009.** Fenología del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L. var. Santa Isabel) en la sabana de Bogotá en campo abierto y bajo cubierta plástica. *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 10(1): 5–15. [ISSN: 0122-8706]
- KOHASHI-SHIBATA, J. 1991.** *Fisiología*. En: Engleman, E. M. (ed). *Contribuciones al Conocimiento del Frijol (Phaseolus)* en México. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. p. 39–58. [ISBN 9688390887]
- KOHASHI-SHIBATA, J. 1996.** *Aspectos de la morfología y fisiología del frijol (Phaseolus vulgaris L.) y su relación con el rendimiento*. Instituto de Recursos Naturales. C. P. Montecillo, Estado de México. 42 p. [ISBN (10): 9688391107; (13): 9789688391105]
- LÉPIZ-ILDEFONSO, R. 1983.** *Origen y descripción botánica*. En: Lépez y Navarro (eds). *Frijol en el Noroeste de México*. Tecnología de Producción. CIAPAN, INIA. Culiacán, Sinaloa, México. p. 29–44. [ISBN: 978-607-425-030-5]
- LÉPIZ-ILDEFONSO, R., S. SÁNCHEZ, E. LÓPEZ, A. GONZÁLEZ & S. NÚÑEZ. 2007.** *El cultivo de frijol en las regiones centro y sur de Jalisco. Tecnología para altos rendimientos*. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco, México. 34 p. [ISBN: 970-27-1099-5]
- MEDINA, G., J. A. RUIZ & R. MARTÍNEZ. 1998.** *Los climas de México*. INIFAP-SAGARPA. Guadalajara, Jalisco, México. 108 p. [ISBN: 978-607-425-715-1]
- MEIER, U., H. BLEIHOLDER, L. BUHR, C. FELLER, H. HACK, M. HESS, P.D. LANCASHIRE, U. SCHNOCK, R. STAUSS, T. VAN DEN BOOM, E. WEBER & P. ZWERGER. 2009.** *The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants – history and publications*. *Journal für Kulturpflanzen*, 61 (2). S. 41–52, [ISSN 0027-7479]. Verlag Eugen Ulmer KG, Stuttgart.
- ROSALES-SERNA, R., J.A. ACOSTA, J.S. MURUAGA, J.M. HERNÁNDEZ, G. ESQUIVEL & P. PÉREZ. 2004.** *Varietades mejoradas de frijol del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. INIFAP. Libro Técnico. No. 6. 148 pp. [ISBN: 968-5580-18-9]
- SILVA, V.M.P., M.J.B. ANDRADE, A.R. MORAES, N.M.B. VIEIRA & J. ALVES. 2005.** Dry matter accumulation by common bean cv. BRS MG Talisma. *Bean Improvement Cooperative. Annual Report*. p. 154–155. [ISSN: 0084-7747]
- WHITE, J. W. 1991.** *Conceptos básicos de fisiología de frijol*. En: López M, F Fernández y A Schoonhoven (eds). *Frijol: Investigación y Producción*. CIAT, Cali, Colombia. p. 43–56.
- WHITE, J.W. & J. IZQUIERDO. 1991.** *Physiology of yield potential and Stress Tolerance*. In: van Schoonhoven, A. & O. Voysest (eds). *Common Beans. Research for Crop Improvement*. p. 287–366. [ISBN 958-9183-24-7].