

180
201

ESTAMPADO
1970



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

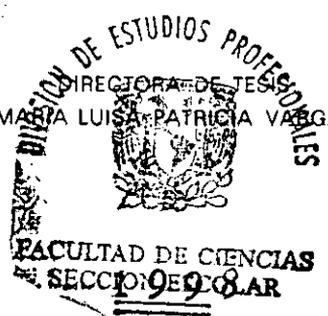
COMPARACION DEL CRECIMIENTO Y
DESARROLLO DE TRES VARIETADES DE FRIJOL
COMUN (*Phaseolus vulgaris*) Y UNA VARIETADE DE
FRIJOL AYOCOTE (*P. coccineus*)

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A
JULIA ANGELICA ZAVALA OLALDE



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DIRECTORA DE TESIS
M. EN C. MAESTRA LUISA PATRICIA VARGAS VAZQUEZ.



265083



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

M. en C. Virginia Abrín Batule
Jefe de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis: Comparación del crecimiento y desarrollo de tres variedades de frijol común (Phaseolus vulgaris) y una variedad de frijol avocote (P. coccineus) realizado por Julia Angélica Zavala Olalde con número de cuenta 3822897-2, pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis	
Propietario	M. C. María Luisa Patricia Vargas Vázquez
Propietario	Dra. Helia Reyna Osuna Fernández
Propietario	M. C. Aída Marisa Osuna Fernández
Suplente	Biól. María Raquel González Avalos
Suplente	Biól. Rubén San Miguel Chávez

Patricia Vargas
Helia Reyna Osuna
Raquel González
Rubén San Miguel

FACULTAD DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLÓGICAS



Consejo Departamental de Biología
Edna Maria Suarez Diaz
DRA. EDNA MARIA SUAREZ DIAZ

DEPARTAMENTO
DE BIOLOGIA

ÍNDICE

Resumen

1. Introducción.....	1
2. Antecedentes	
2.1 El cultivo de frijol en México.....	2
2.1.1 Ubicación taxonómica, descripción y distribución del género <i>Phaseolus</i>	2
2.1.2 Importancia de las especies de <i>Phaseolus</i>	4
2.2 Fenología.....	7
2.3 Descripción morfológica.....	11
2.4 Producción de materia seca.....	17
2.5 Análisis del crecimiento.....	19
2.6 Rendimiento.....	23
2.7 Objetivos e hipótesis.....	28
3. Materiales y Métodos	
3.1 Descripción del sitio experimental.....	29
3.1.1 Localización y características climáticas.....	29
3.1.2 Suelo.....	30
3.2 Variedades de plantas utilizadas.....	30
3.3 Diseño experimental.....	32
3.4 Conducción del experimento.....	32
3.5 Características evaluadas	
a) Fenología.....	33
b) Características morfológicas.....	35
c) Producción de materia seca.....	35
d) Análisis del crecimiento.....	36
e) Rendimiento.....	37
3.6 Análisis Estadístico.....	38

4. Resultados y Discusión	
4.1 Fenología.....	40
Inicio de etapas fenológicas.....	40
Duración de etapas fenológicas.....	41
4.2 Descripción morfológica.....	45
4.3 Producción de Materia Seca	
Tallos.....	50
Hojas.....	52
Frutos.....	54
Biomasa total.....	54
Distribución de la materia seca.....	56
4.4 Análisis del Crecimiento	
Tasa Absoluta del Crecimiento (TAC).....	59
Tasa de Asimilación Neta (TAN).....	63
Índice de Área Foliar (IAF).....	63
Duración del Área Foliar (DAF).....	64
4.5 Rendimiento y sus componentes.....	66
5. Conclusiones y Propuestas.....	68
6. Bibliografía.....	70
Anexo.....	74

1.	Etapas fenológicas para el frijol común según CIAT, 1992.....	11
2.	Promedio de temperatura máxima, mínima y precipitación cada siete días durante el ciclo del cultivo. Chapingo, Méx. 1997.....	31
3.	Diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones.....	32
4.	Diagrama de flujo de las variables de respuesta obtenidas en tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx, 1997.....	39
5.	Distribución de periodos vegetativo y reproductivo de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote a través del tiempo. Chapingo, Méx.1997.....	42
6.	Número de nudos por planta a floración (F) y a cosecha (C) para tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.....	47
7.	Número de vainas y de semillas a cosecha en tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.....	47
8.	Área Foliar de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.....	49
9.	Peso seco de tallos de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.....	51
10.	Peso seco de hojas y de frutos de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.....	53
11.	Peso seco de toda la planta de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.....	55

12. Distribución de la materia seca por planta en la etapa de madurez fisiológica de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.....	58
13. Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC) de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.....	62
14. Tasa de Asimilación Neta (TAN), Índice de Área Foliar (IAF) y Duración del Área Foliar (DAF) de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx.....	65

CUADROS

1. Algunas características morfológicas para distinguir a las especies <i>Phaseolus vulgaris</i> y <i>P. coccineus</i>	12
2. Índices de crecimiento determinados a tres variedades de frijol común y a una variedad de frijol ayocote, Chapingo, Méx. 1997.....	36
3. Inicio de etapas fenológicas en días después de la emergencia (dde) para tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.....	41
4. Duración de Períodos fenológicos en días después de la emergencia (dde) para tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997	43
5. Rendimiento de Grano (RG), Rendimiento Biológico (RB) e Índice de Cosecha (IC) de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.....	66

RESUMEN

El género *Phaseolus* (Fam. Fabaceae) incluye 55 especies de las cuales *P. acutifolius*, *P. coccineus*, *P. lunatus*, *P. polyanthus* y *P. vulgaris* fueron domesticadas y son utilizadas principalmente para la alimentación. Se han realizado más estudios (biológicos y agronómicos) de la especie *P. vulgaris* que de las otras cuatro, pero es necesario llevar a cabo investigaciones que incluyan las otras especies domesticadas para saber su potencial como cultivo alternativo.

El objetivo de este trabajo fue comparar la fenología, morfología, crecimiento y rendimiento de tres variedades de *Phaseolus vulgaris* (Pinto Villa, Bayomex y Bayo Mecentral) y una variedad de *P. coccineus* (Blanco Tlaxcala), para conocer las diferencias existentes entre variedades.

Los datos fueron obtenidos en el ciclo P-V 1997 en el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) de las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP) bajo condiciones ambientales de un año extremadamente seco (291.49 mm en frijol común y 311.19 mm de precipitación en frijol ayocote).

En ambas especies se realizaron muestreos quincenales y se registraron algunas variables de fenología, morfología y peso seco. Con base en el peso seco se obtuvieron los siguientes índices de crecimiento: Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), Tasa de Asimilación Neta (TAN), Índice de Área Foliar (IAF) y Duración de Área Foliar (DAF).

Los resultados indicaron diferencias entre especies. La variedad de *Phaseolus coccineus*, Blanco Tlaxcala, tardó de 4 a 12 días menos en florecer que las variedades de *P. vulgaris*. No obstante, esta variedad presentó un ciclo de cultivo más largo (135 días), 36 días más que las variedades de *P. vulgaris*.

En el aspecto de morfología, el frijol ayocote tuvo un aumento de más del 50 por ciento en la cantidad de nudos producidos de floración a cosecha por planta, en cambio en el frijol común sólo hubo un aumento del 30 por ciento.

Se encontraron diferencias entre especies para los índices de crecimiento evaluados (TAC, TAN, IAF y DAF), lo que se reflejó en el crecimiento de la planta. El frijol Blanco Tlaxcala presentó una TAC de toda la planta ($0.813 \text{ g.m}^{-2}.\text{día}$) menor que las variedades de *P. vulgaris* ($2.135 \text{ g.m}^{-2}.\text{día}$). También los valores del IAF y la DAF fueron de cuatro a siete veces menores para Blanco Tlaxcala en comparación con las variedades de frijol común. Únicamente en la TAN obtuvo un máximo valor de $1.098 \text{ g.cm}^{-2}.\text{día}$ que fue casi del doble que las tres variedades de frijol común.

En la madurez fisiológica el frijol común a diferencia del frijol ayocote presentó la mayor cantidad de biomasa total en fruto (50-30 por ciento respectivamente). Como las variedades de frijol común distribuyeron una mayor proporción de su biomasa total en la semilla, obtuvieron mayores rendimientos de grano que la variedad de frijol ayocote.

Aunque el frijol ayocote no presentó un rendimiento de grano igual o superior al frijol común, no se puede descartar como un posible cultivo alternativo, porque la precipitación y los polinizadores presentados, no fueron los más adecuados para el desarrollo de la variedad estudiada.

La cantidad de precipitación ocurrida también afectó a las variedades de frijol común, de manera que Pinto Villa fue el material que alcanzó el máximo rendimiento de grano porque es un material seleccionado en Durango, en donde el clima es seco, y por lo tanto la escasez de agua aparentemente no le causó efecto negativo en su desarrollo. En cambio, a las otras dos variedades de frijol común les disminuyó el rendimiento.

Con base en los resultados obtenidos se propone sembrar el frijol Blanco Tlaxcala con riegos de auxilio y con presencia de polinizadores. Además se pueden realizar experimentos de fertilización y densidad para encontrar cuales son los más adecuados para este material. También se pueden hacer selecciones individuales de las plantas con menor número de nudos de floración a cosecha y que por lo tanto, distribuyan en mayor proporción su biomasa a las semillas.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de frijol en México es muy importante porque es uno de los alimentos que constituyen la base de la dieta en la población. Sin embargo, se han domesticado 5 especies de *Phaseolus*, y de éstas el frijol común (*P. vulgaris*) es la que ha sido estudiada en mayor medida. Las otras cuatro (*P. coccineus*, *P. polyanthus*, *P. acutifolius* y *P. lunatus*) persisten en los sistemas de agricultura tradicional y/o marginada. Por lo que deben implementarse estudios para conocer su potencial real como cultivo alternativo para que puedan emplearse como fuente de alimentación de manera intensiva.

Por lo anterior, y debido a los escasos estudios del frijol ayocote *P. coccineus*, este trabajo trata de conocer algunos aspectos del crecimiento, desarrollo y rendimiento de la primera variedad mejorada en México de ayocote, denominada Blanco Tlaxcala.

Esta variedad de ayocote se comparó con tres variedades de frijol común. De hecho las variedades analizadas presentan diferencias en cuanto al hábito de crecimiento, duración del ciclo de vida y en características morfológicas, pero es necesario realizar estudios comparativos para evaluar algunos factores que actúan sobre el desarrollo de éstas.

El objetivo del trabajo fue comparar la fenología, morfología, crecimiento y rendimiento de tres variedades de *Phaseolus vulgaris* (Pinto Villa, Bayomex y Bayo Mecentral) y una variedad de *P. coccineus* (Blanco Tlaxcala). Se consideró la hipótesis de que existen diferencias significativas entre variedades y especies del género *Phaseolus*.

2. ANTECEDENTES

2.1 EL CULTIVO DE FRIJOL EN MÉXICO

En Mesoamérica el frijol ocupaba un lugar especial dentro de los patrones culturales y agrícolas de las civilizaciones precolombinas y constituía dentro de sus dietas un elemento básico importante. Este cultivo al igual que otros como la calabaza, chile, aguacate, quelite, maguey, y en un lugar sobresaliente el maíz, fueron la base alimenticia de las culturas mesoamericanas (Haberland, 1974, citado por Bruner, 1982).

En México, el cultivo de las leguminosas es tan antiguo como las culturas prehispánicas. Los restos arqueológicos muestran evidencias de su uso en la alimentación por más de 4,000 años.

Actualmente, en México el frijol *Phaseolus* spp. desempeña un papel fundamental en la alimentación de la población, ya que aporta prácticamente la totalidad de las proteínas que consumen los estratos sociales de menores ingresos, y es el complemento indispensable del maíz en la economía campesina. De ahí que una parte importante de la producción se realice en ese sector y se destine al autoconsumo (Solórzano, 1994).

2.1.1 Ubicación taxonómica, descripción y distribución del género *Phaseolus*

El nombre del género *Phaseolus* se debe al parecido de la vaina a un pequeño bote ("phaseolus"); este nombre fue asignado por Linneo al describirlo en su obra "Species plantarum" en 1753 formado por 11 especies de las cuales sólo 4 pertenecen actualmente al género *Phaseolus* (Delgado, 1985).

Desde el punto de vista taxonómico el género *Phaseolus* se ubica en la División Magnoliophyta; Clase Magnoliopsida; subclase Rosidae; orden Fabales; Familia Fabaceae; subfamilia Papilionoideae; tribu Phaseoleae y subtribu Phaseolineae (Heywood, 1985 y Barkart, 1945).

El género *Phaseolus* consta de cuatro secciones (Delgado, 1985): a) *Chiapasana* A. Delgado con una especie; b) *Phaseolus* DC. que contiene 27 especies; c) *Minkelersia* (Mart. & Gal.) Maré, Mascha & Stan, con ocho especies y d) *Xanthotricha* A. Delgado, que incluye dos especies. Aún no existe un acuerdo en cuanto al número real de especies que componen el género y se infiere que pueden ser de 50 a 55 taxones (Delgado, 1985 y Debouck, 1991; citados por Martínez y Muruaga, 1992).

Existen algunas características de las plantas del género *Phaseolus* que permiten su identificación, el CIAT (1980) señala como principales las siguientes:

- a) Las hojas son trifolioladas (en muy raros casos unifolioladas), de estipulas pequeñas y foliolos casi siempre enteros.
- b) Las estipulas son persistentes y no se prolongan en la base.
- c) En la planta se presentan unos tricomas en forma de gancho llamados pelos uncilados. Estos se encuentran especialmente en el tallo y en los peciolo.
- d) Las flores que pueden ser pocas o numerosas, están situadas en racimos axilares o terminales y poseen 2 bracteolas que persisten mínimo hasta la antesis.
- e) La corola puede ser blanca, o de color rojo, púrpura o una mezcla de estos colores, pero nunca amarilla.
- f) El estilo está envuelto por la quilla; tiene forma de espiral pronunciada y es caduco, es decir, cae después de la fecundación. Los estambres son diadelfos, o sea unidos a sus filamentos en dos grupos, con la siguiente distribución: 9 de ellos soldados por la base y uno más que se queda libre llamado estambre vexilar.
- g) Las vainas pueden ser rectas o curvas; en general sus lados son comprimidos.
- h) El número de semillas por vaina es variable, de 2 a 10, también hay variación en cuanto al tamaño, forma y color de las semillas.

Este género está estrechamente relacionado con el género *Macroptilium* (ambos endémicos de América) y con la porción americana de *Vigna* (Maréchal *et al* (1978a); Lackey (1983) y Delgado (1985); citados por Martínez, 1995).

La Botánica define al género *Phaseolus* y considera solo a las especies del Nuevo Mundo; las especies del Viejo Mundo, como el garbanzo y el frijol de arroz son ahora clasificadas como pertenecientes al género *Vigna* (Kaplan y Kaplan, 1988).

La distribución geográfica del género *Phaseolus* es amplia y se extiende desde el sur de los Estados Unidos hasta el noroeste de Argentina. Sin embargo, más del 90% de las especies se encuentran distribuidas en Mesoamérica, principalmente en los claros de los bosques de pino-encino con una amplitud altitudinal promedio de 10 a 2,700 msnm. Las especies silvestres de *Phaseolus*, en general tienden a ser más numerosas en México a lo largo de las principales cordilleras, esta diversidad decrece drásticamente al sur de Guatemala (Delgado, 1985).

2.1.2 Importancia de las especies de *Phaseolus*

El género *Phaseolus* es trascendente debido a que las semillas de las formas cultivadas están entre los granos comestibles más importantes del mundo (Debouck, 1991; citado por Martínez, 1995). En efecto, las siguientes cinco especies comprenden formas silvestres y cultivadas, *P. vulgaris* L., *P. coccineus* L., *P. limatus* L., *P. acutifolius* Gray y *P. polyanthus* Greeman. Estas especies han sido importante fuente de alimento humano desde tiempos prehistóricos y han estado asociadas con las principales culturas americanas, según la evidencia de los hallazgos arqueológicos de Kaplan, 1967 y 1981(citado por Martínez, 1995); y Kaplan y Kaplan, 1988. Aparte de las cinco especies mencionadas, hay otras que han sido utilizadas, aunque en forma más local, por grupos indígenas en el pasado y aún en el presente. Así se tiene lo descrito por Nabhan *et al.* 1980 (citado por Martínez, 1995), sobre *P. maculatus* aún utilizado en Chihuahua, México, por sus semillas y raíces engrosadas. En el mismo estudio Debouck, 1987b (citado por Martínez, 1995), ha señalado, que aunque carece de evidencias de que el hombre antiguo hizo uso de las especies no cultivadas en la

actualidad, tampoco se puede descartar que algunas de ellas se hayan recolectado o cultivado en el pasado.

Las especies silvestres de *Phaseolus* son de gran interés porque entre su diversidad genética pueden existir características de resistencia y/o tolerancia a enfermedades, plagas, sequía, etc. (Huclo y Scoles (1987) y Simmonds *et al* (1989); citados por Martínez, 1995).

Los pueblos precolombinos cultivaron las especies domesticadas del género *Phaseolus* durante miles de años como principal fuente de proteínas, ya que los animales no jugaron un papel importante como alimento o como fuerza de trabajo, particularmente en Mesoamérica. Ya en la época precolombina, el frijol común (*P. vulgaris* L.) tuvo mayor aceptación y se seleccionó más intensamente por lo que el esfuerzo de mejora genética se ha concentrado principalmente en éste. Esta práctica ha perjudicado a las demás especies, que presentan en la agricultura moderna, un interés superior o comparable, por lo menos en las zonas que no ofrecen condiciones ecológicas óptimas para su desarrollo. Los niveles de evolución de las cinco especies no han sido los mismos, y queda mucho potencial por explotar .

En una época en que se ha aceptado el modelo de una agricultura a la vez sostenible y productiva, los frijoles merecen ser objeto de renovada atención (Debouck, 1992).

En México, dos de las especies de mayor importancia para la alimentación son *P. vulgaris* (frijol común) y *P. coccineus* (frijol ayocote), razón por la cual el presente estudio se refiere a algunas variedades que pertenecen a dichas especies. Aunque de *P. coccineus* únicamente se tiene la primera variedad mejorada y es con la que se trabajó en este estudio.

Son pocas las variedades de *P. coccineus* que han sido desarrolladas en el mundo. Por ejemplo, en Italia se tienen las dos primeras variedades de esta especie, llamadas "Venere" y "Alarico". Estas variedades son el resultado de una serie de cruces de 5 variedades de *P. vulgaris* con un ecotipo de *P. coccineus* llamado "Bianco di

Spagna". Ambos materiales son de hábito de crecimiento determinado y de polinización cruzada. Las semillas son de Veneta y son de color blanco y las de Alarico tienen moteado negro sobre fondo rosa (Campion, 1995).

A través de los años se han realizado muchas investigaciones sobre las especies *P. vulgaris* y *P. coccineus*. Miranda, 1979 señaló algunas características para diferenciarlas que a continuación se mencionan:

a) *P. vulgaris* L. es originaria de la parte sur-occidental del área México-Guatemala, y predomina en alturas de 1200 msnm. En cambio, la especie *P. coccineus* se originó en las tierras templadas o frías de la misma área y predomina en alturas de 2,200 msnm.

b) Los factores que han intervenido en la evolución de *P. vulgaris* y *P. coccineus* han sido el sistema reproductivo, la migración, la mutación y la selección. Todos estos factores, actuando en forma conjunta o por separado, han hecho que la diversidad genética de las especies haya aumentado bajo domesticación.

c) Los caracteres que se han diversificado en ambas especies con la domesticación han sido: el hábito de crecimiento, el tamaño de las hojas, de las flores, de los frutos y semillas, así como la diversidad del color de la testa.

d) En particular, en *P. vulgaris* se ha modificado el color y la fibrosidad de la vaina, la forma de la semilla y la resistencia a enfermedades. En cambio en *P. coccineus*, la domesticación ha permitido introducir nuevos caracteres como son: el ciclo vegetativo anual, la ocurrencia de cotiledones epigeos en la plántula, el establecimiento de un mayor número de formas del estigma, y la pérdida de sustancias tóxicas en las semillas.

e) Los caracteres que se han reducido en ambas especies con la domesticación, han sido: el ciclo vegetativo, el número de ramas por planta, de hojas por planta, y de nudos por inflorescencia; el grado de dehiscencia de la vaina; el grado de latencia de la semilla; el periodo de crecimiento; la habilidad para competir con malezas; y el grado de resistencia a los insectos.

2.2 FENOLOGÍA

El desarrollo de la planta depende de la interacción coordinada de los factores hereditarios y ambientales (climáticos, edáficos, geográficos y bióticos) sobre los procesos fisiológicos internos de dicha planta. El crecimiento y diferenciación (desarrollo) de las plantas están considerados como una respuesta a los factores mencionados (Arriaga, 1991).

El fenotipo de una planta es el resultado de la interacción de su genotipo y el medio (clima, suelo y factores bióticos). El término fenología se utiliza para designar al conjunto de fenómenos biológicos como floración, fructificación, letargo, etc., que ocurren en diferentes etapas del desarrollo (ciclo biológico) de las plantas y que están acomodados en cierto ritmo biológico (Escalante y Kohashi, 1993).

Por lo tanto, se puede decir que el objetivo de la fenología vegetal es el estudio de la relación entre los factores climáticos y los procesos periódicos de las plantas (Arriaga, 1991).

Para el caso del frijol existen estudios publicados acerca de la definición y duración de las diferentes etapas fenológicas de *P. vulgaris*. Que se mencionan siguiendo los criterios señalados por CIAT, 1982 para las fases y etapas fenológicas del frijol común (Escalante y Kohashi, 1993).

FASE VEGETATIVA (V)

La fase vegetativa se inicia cuando se le brinda a la semilla las condiciones para iniciar la germinación y termina cuando aparecen los primeros botones florales en las variedades de hábito de crecimiento determinado, o los primeros racimos en las variedades de crecimiento indeterminado. Esta fase consta de las etapas siguientes: germinación, emergencia, hojas primarias, primera hoja trifoliolada y tercera hoja trifoliolada (Escalante y Kohashi, 1993).

Para las etapas, a menos que se indique específicamente, quedará sobreentendido que en el caso de un cultivo, las características distintivas de la etapa deberán ocurrir en el 50% de las plantas.

Etapa V0 de Germinación

El proceso de germinación consiste en la absorción de agua, la reactivación del metabolismo y la iniciación del crecimiento (Bidwell, 1993). Se considera como el inicio de la etapa V0 (CIAT, 1982), el día en que la semilla tiene a su disposición suficiente humedad para imbibirse y estar en posibilidades de iniciar la germinación (Escalante y Kohashi, 1993).

Entre el inicio de la germinación y la siguiente fase, que es la emergencia de la plántula, la radícula crece hacia abajo. Por otro lado, el crecimiento de la plúmula hacia arriba, y especialmente el alargamiento (elongación) del hipocotilo, son responsables de que la plántula "se abra paso" a través del suelo hacia la superficie, emergiendo primero el gancho plumular con lo cual termina la etapa V0 (op. cit.).

Etapa V1 de Emergencia

Esta etapa se inicia cuando los cotiledones aparecen al nivel del suelo. En el caso de las especies de germinación hipógea (*P. coccineus*), el hipocotilo permanece muy corto y no emerge del suelo. Posteriormente, se endereza el gancho plumular y los cotiledones pueden verse en posición horizontal en el nudo 1. El desarrollo de la planta prosigue con la elongación del tallo y la expansión y proceso de despliegue de las hojas primarias.

Etapa V2 de Hojas Primarias

Esta etapa comienza cuando las hojas primarias, que son simples y están en posición opuesta en el nudo 2, están completamente desplegadas. El desarrollo continúa con la expansión de las hojas primarias y de los folíolos de las hojas compuestas o trifolioladas, mismos que se encuentran plegados, su desarrollo posterior implica la continuación de su expansión, su separación y despliegue.

Etapa V3 de la Primera Hoja Trifoliolada

Esta etapa se inicia cuando la planta presenta la primera hoja trifoliolada completamente abierta y ubicada en un plano.

Etapa V4 de la Tercera Hoja Trifoliolada

De manera semejante a la etapa anterior, ésta se inicia cuando la tercera hoja compuesta se encuentra completamente desplegada y los folíolos se localizan en un sólo plano. Esta etapa V4, continúa con la expansión de la tercera hoja trifoliolada y el crecimiento de las siguientes hojas compuestas y el tallo.

FASE REPRODUCTIVA (R)

La fase reproductiva se inicia desde el momento de la diferenciación de las yemas florales, que como en el caso de algunas variedades de hábito determinado, pueden distinguirse ya al final de la etapa V2. Esta fase termina en el momento en que las semillas completan su desarrollo.

Las etapas que comprenden esta última fase son las señaladas por Escalante y Kohashi (1993) y corresponden a: prefloración, floración, formación de vainas, llenado de vainas y maduración.

Etapa R5 Prefloración

Se inicia cuando aparece el primer botón o el primer racimo. En las variedades con hábito de crecimiento determinado el desarrollo de botones florales se notará en el último nudo del tallo o la rama, por el contrario, en las variedades indeterminadas, al inicio de esta etapa los racimos se observan en los nudos inferiores (op. cit.).

Etapa R6 Floración

Esta etapa se inicia cuando la planta presenta la antesis de la primera flor. Las flores permanecen frescas y turgentes y poseen la coloración característica de la especie, lo cual sucede sólomente el mismo día de la antesis. Al día siguiente se

tornan flácidas y marchitas y cambian de color. Tres o cuatro días después de la antesis, la corola se marchita y puede estar colgando próxima a desprenderse o puede haberse desprendido, dejando visible la vaina joven (op. cit.).

Etapa R7 Formación de vainas

Esta etapa se inicia cuando la planta presenta la primera vaina con la corola de la flor colgada o desprendida. Esto sucede alrededor de tres o cuatro días después de la antesis (op. cit.).

La vaina crece rápidamente en longitud, de tal manera que en alrededor de dos o tres semanas alcanza su máxima longitud constituyendo este estado el fin de la etapa R7. Sin embargo, en este estado del desarrollo de la vaina, las semillas no son mayores que el tamaño de una lenteja (5 mm de ancho por 5 mm de largo) y corresponde al estado de desarrollo en que las vainas se cosechan para ejote (op. cit.).

Etapa R8 Llenado de vaina

Se inicia cuando la primera vaina empieza a acumular reservas y se inicia el crecimiento acelerado de las semillas, las cuales en la zona de Chapingo alcanzan su máximo peso alrededor de 40-45 días después de la antesis. Las semillas tienen un color verde, pero al final de la etapa R8 van adquiriendo el color característico de la variedad, es decir, la testa empieza a pigmentarse. Asimismo, empieza la senescencia de las hojas que pierden el color verde y se tornan amarillas (clorosis), y finalmente ocurre la abscisión de los folíolos individuales (op. cit.).

Etapa R9 Maduración

Se caracteriza por el inicio de decoloración y deshidratación en las primeras vainas, continua la clorosis, la abscisión foliar y todas las partes de la planta se secan, las vainas al secarse pierden su pigmentación. El contenido de agua de las semillas baja hasta alcanzar un 15%, momento en el cual las semillas adquieren su color típico.

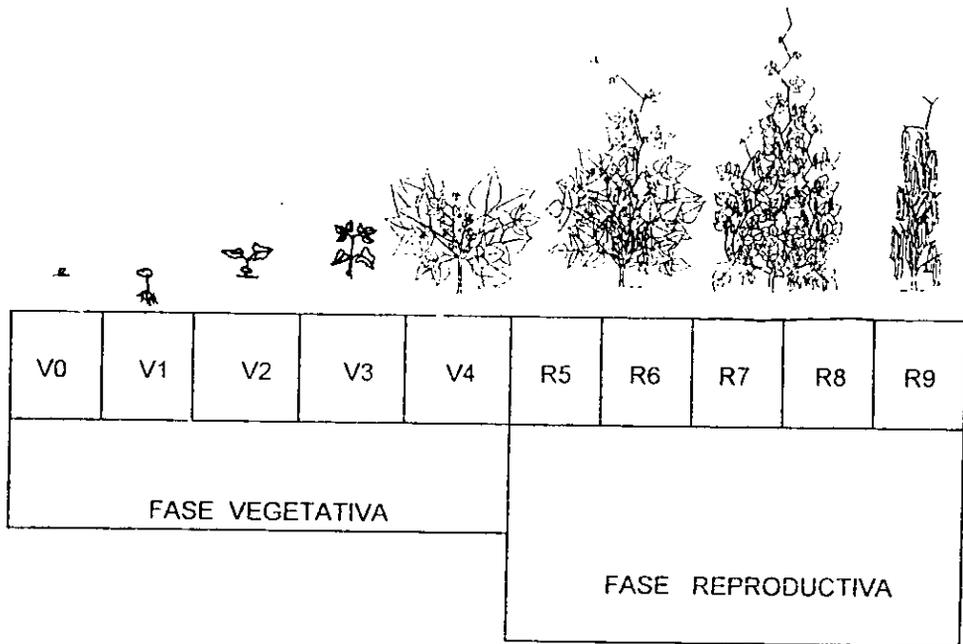


Fig. 1 Etapas fenológicas para el frijol común según CIAT, 1982. Solórzano, 1994.

2.3. DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

Engleman (1979) menciona que se puede considerar a la anatomía como el estudio de la estructura interna y a la morfología como el estudio de la forma externa o de la homología de órganos. Los dos estudios estructurales se ocupan de la posición de las partes y de las relaciones entre ellas.

Las características básicas de la vida, tales como la sensibilidad, reproducción, competencia por recursos, etc., generalmente son actividades o funciones que se llevan a cabo con materiales que van desde el tamaño molecular hasta el visible. La estructura y la forma visibles (con o sin microscopio) son el armazón por medio del cual se desarrollan las funciones; de ahí que para entender la función es necesario conocer el armazón, porque el armazón es parte de la actividad (Engleman, 1979).

Las características morfológicas permiten distinguir las plantas pertenecientes al género *Phaseolus*, pero es necesario destacar que son varias las especies que constituyen dicho género y que también presentan rasgos distintivos. Las especies que nos interesan para cubrir el objetivo del presente trabajo son *P. vulgaris* y *P. coccineus*, por lo tanto a continuación se mencionan algunas de las características de dichas especies.

Características	<i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Phaseolus coccineus</i>
Tamaño de las semillas	0.1-1.4 cm longitud y 0.7-0.9 cm de ancho	0.8-1.7 cm longitud y 0.7-1.0 cm de ancho (Delgado, 1988)
Hilum de las semillas	elipsoidal	alargado
Germinación	epígea	hipógea
Inflorescencias	racimos menos largos que las hojas y con relativamente pocas flores	racimos más largos que las hojas y muchas inserciones florales
Color de flor	blanco, rosa y morado	blancas y rojas
Bracteolas	igual o más grandes que el cáliz y redondeadas	pequeñas, iguales o más gruesas que el caliz
Estigma	más cerca del ovario, anteras rodean completamente el estigma	más lejos del ovario que las anteras
Vainas	ovales, delgadas, angostas y pueden tener de 4 a 10 semillas	lados relativamente comprimidos, gruesas y grandes y el número de semillas variable
Raiz	no tuberosa	tendencia a ser tuberosa
Ciclo de vida	anual	perenne

Cuadro 1. Algunas características morfológicas para distinguir a las especies *Phaseolus vulgaris* y *P. coccineus*. Fuente CIAT, 1980.

Las características descritas se usan en forma complementaria, es decir, que en cada etapa de crecimiento de las plantas hay una característica que se puede usar para la identificación y que en caso de duda, se debe esperar a una siguiente etapa para usar otras características específicas (op. cit.).

El CIAT (1980) también considera importante definir algunos parámetros agronómicos para estudiar las especies de frijol. Se dice que el comportamiento agronómico está relacionado con las diferencias en morfología y taxonomía. Los parámetros principales son: 1) Hábito de crecimiento, 2) Ciclo vegetativo (comportamiento bajo condiciones de campo) y 3) Características de adaptación

Hábito de crecimiento

Se menciona que es una característica morfológica muy importante que tiene una influencia directa en el manejo agronómico de *Phaseolus*. Este en términos generales puede ser agrupado en dos categorías: determinado e indeterminado. Comúnmente, el tipo de hábito determinado ocurre con una frecuencia más baja (CIAT, 1980).

Las plantas de **hábito de crecimiento determinado** se caracterizan porque el tallo principal y las ramas laterales terminan en una inflorescencia desarrollada, a consecuencia de lo cual la floración y la maduración son tempranas y la planta es arbustiva (op. cit.).

Las plantas de **hábito indeterminado** se caracterizan porque el tallo principal y las ramas laterales terminan en un meristemo vegetativo, susceptible de crecimiento indefinido, que da origen a una guía (op. cit.).

La planta puede clasificarse como **indeterminada arbustiva** si la guía no tiene tendencia a trepar, o como **trepadora** si tiene la tendencia a trepar. Las plantas de hábito indeterminado generalmente tienen periodos de crecimiento más prolongados que las de hábito determinado y además presentan otra característica importante; su notable capacidad de recuperación después de haber estado sometida a condiciones adversas (op. cit.).

Dentro de las plantas de hábito indeterminado, no trepadoras, dos grupos pueden ser diferenciados más en detalle: aquellas con **guías cortas y menor número de nudos (tipo II) y aquellas con guías largas y con mayor número de nudos (tipo III)** (op. cit.).

Ciclo vegetativo

Existen en el género *Phaseolus* tanto las formas anuales como perennes. Las formas anuales son comunes en *P. vulgaris* y en *P. acutifolius*. En condiciones de campo, el ciclo vegetativo de las formas anuales termina con la senescencia de las hojas y la madurez de las vainas (op. cit.).

Por otra parte, las formas perennes son las más comunes en *P. lunatus* y *P. coccineus*; debido a ésto la floración, el llenado de las vainas y la maduración de las mismas es un proceso continuo que puede ser relativamente largo (op. cit.).

En las dos especies las hojas permanecen de un color verde oscuro, incluso mucho tiempo después de que las vainas han madurado completamente, además tienen una capacidad de producción de yemas vegetativas lo que demuestra que el ciclo de crecimiento de estas especies se puede prolongar (op. cit.).

P. coccineus subsp. *coccineus* en la mayoría de los casos presenta un desarrollo del sistema radical en forma tuberosa, lo cual determina en gran parte el carácter perenne, ya que las raíces tuberosas actúan como un órgano de almacenamiento de reservas nutritivas. Estas reservas permiten el rebrotamiento de la parte aérea después de haber sido cortada, o la recuperación de la planta después de haber sido sometida a condiciones adversas (op. cit.).

Características de adaptación

Es importante conocer la capacidad de adaptación de las especies cultivadas tanto para seleccionar las regiones en las cuales se podrían introducir estas especies, como para llevar a cabo su adecuado manejo agronómico. Algunos aspectos de dicha adaptabilidad son los siguientes:

El frijol común (*P. vulgaris*) por lo general no se adapta a los trópicos húmedos de alta temperatura, pero crece bien en áreas subtropicales con lluvias regulares y temperatura moderada. En las zonas templadas se adapta a altitudes que varían desde el nivel del mar hasta cerca de 3,000 metros de altura dependiendo de la latitud, pero es muy sensible tanto a las heladas como a las altas temperaturas (op. cit.).

Condiciones secas durante las épocas críticas de la floración y el llenado de las vainas le son también muy perjudiciales. Por otra parte, el exceso de lluvias también afecta el frijol común porque es muy susceptible al exceso de agua en el suelo y además se incrementa la frecuencia de enfermedades, como por ejemplo: la bacteriosis y la antracnosis (op. cit.).

El frijol ayocote (*P. coccineus*) se cultiva en las zonas húmedas y de temperaturas frescas (menos de 20°C); en clima medio, como el de las zonas de elevación media alta de los trópicos, y también en algunas regiones de las zonas templadas. Las formas perennes son bastante comunes (op. cit.).

A diferencia de lo que sucede en las otras especies cultivadas de *Phaseolus*, la presencia de estigma extrorso en *P. coccineus* aumenta el porcentaje de polinización cruzada; incrementada por la presencia de insectos que transfieren pólen, ya que causan ruptura de la membrana estigmática al posarse sobre la flor en el momento de tomar néctar (op. cit.). Los principales insectos polinizadores que se han observado en el desarrollo del cultivo son *Apis mellifera* y *Bombus* spp., Muruaga et al, 1992 señalan que la eficiencia en la polinización es de 62 y 76% en presencia de estos insectos.

Como consecuencia, el mantenimiento de esta especie en forma de líneas puras presentaría dificultades, algunas de las cuales pueden manifestarse por la variación en los colores de la semilla que es bastante amplia en esta especie (CIAT, 1980).

En este estudio se trabajó con tres variedades de *P. vulgaris* (Pinto Villa, Bayomex y Bayo Mecedral) y una variedad de *P. coccineus* (Blanco Tlaxcala), por lo tanto, a continuación se describen algunas de sus características:

Pinto Villa. Es una variedad mejorada, desarrollada para la región templada y semiárida de México, de un tipo de hábito de crecimiento indeterminado postrado de semiguía, tipo III, sensible al fotoperíodo y tolerante a la sequía. Generalmente madura a los 85 días después de la siembra en Durango. Tiene un potencial de rendimiento de 1.45 ton/ha. El grano de esta variedad es de tamaño mediano o sea de 28-33 g en 100 semillas (Acosta *et al.*, 199.).

Bayomex. Es una variedad de tipo de hábito de crecimiento determinado o de mata, se caracteriza por ser precoz ya que presenta su madurez entre los 95 y 105 días. Aunque su potencial de rendimiento, de 1.2 a 1.6 ton/ha, puede ser bajo, tiene la ventaja de ser semilla muy comercial y es la mejor alternativa en siembras retrasadas. Su máximo rendimiento lo presentan en suelos profundos y con precipitaciones de 400 a 600 milímetros (Campos y Garza, 1990).

Bayo Mecedral. Es una variedad de hábito de semiguía, de ciclo intermedio, presenta madurez entre los 110 y 115 días. Su potencial de rendimiento es de 1.5 a 2.0 ton/ha y es superior al de variedades de mata. Es una de las variedades más rendidoras (Campos y Garza, 1990).

Blanco Tlaxcala. Es una variedad de hábito de crecimiento arbustiforme, presenta su madurez entre los 110 y 120 días. Su potencial de rendimiento es de 1.5 a 2.0 ton/ha en los Valles Altos de México (Muruaga, 1996).

2.4. PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA

El crecimiento de la planta o de alguno de sus órganos puede ser estudiado por la medición de variables tales como: la longitud, el volumen, el peso fresco o seco, etc., a intervalos sucesivos de tiempo durante el periodo de desarrollo (Torres de la Noval, 1984).

Durante las primeras fases del crecimiento, la planta de frijol asigna el mayor porcentaje de biomasa a las hojas, el tallo y las raíces. En la fase reproductiva el peso seco asignado a flores y frutos se incrementa, mientras que disminuye la asignación a las estructuras vegetativas.

De la etapa de floración en adelante, la demanda de las estructuras reproductivas es intensa, compitiendo y limitando la asignación de fotosintatos hacia las hojas, tallo y raíces. Esto es especialmente crítico para los materiales de crecimiento determinado pues la baja en el flujo de asimilados hacia la raíz puede producir una senescencia precoz en los sistemas radicales y limitar los procesos de absorción nutrimental. En los materiales de hábito indeterminado, coexisten los crecimientos vegetativo y reproductivo compitiendo por los asimilados en un juego determinado genéticamente pero influenciado por el ambiente (Ballesteros, 1997b).

Según Adams (1973); citado por Ballesteros (1997b) las variedades de crecimiento indeterminado, presentan repercusiones en el tiempo de retención de vainas y en el rendimiento de grano, porque coexisten el crecimiento vegetativo y el reproductivo.

Peso seco de órganos

La mayor parte de los estudios sobre el crecimiento vegetal consideran solamente la parte aérea, excluyendo a la parte radical por los problemas que tiene su determinación en condiciones de campo. De modo que la raíz generalmente se ignora en los planes de mejoramiento genético y en la evaluación de influencia del ambiente sobre los cultivos. Sin embargo, la raíz es uno de los órganos claves en la planta, pues además de las funciones de sostener al vegetal en el suelo es el órgano

de almacenamiento y absorción de nutrientes, así como el punto de contacto con el micromundo edáfico. Por ser la raíz un órgano no fotosintético, su crecimiento depende del suministro de carbohidratos desde la parte aérea de la planta, además requiere de agua, minerales, hormonas, disponibilidad de oxígeno y una temperatura favorable (Ballesteros, 1982).

En el frijol común el peso seco del tallo es una característica morfológica importante para la evaluación de genotipos debido a que está relacionado con los aspectos más importantes de la arquitectura de la planta. El diámetro del tallo principal en cierto entrenudo podría ser buen indicador de la firmeza del hipocotilo y pudiera utilizarse como criterio de selección en condiciones de estrés y de no estrés hídrico (Acosta, 1988; citado por Vargas, 1994).

Los valores de peso seco de hojas pueden aumentar hasta que se inicia el envejecimiento posteriormente ocurre la abscisión marcada de hojas maduras, debido al flujo preferente de fotosintatos hacia los frutos y por su translocación desde las hojas viejas hacia zonas de mayor actividad metabólica.

Como el peso foliar está directamente relacionado con el área foliar total, provee información indirecta sobre la potencialidad fotosintética de las plantas (Ballesteros, 1982).

La distribución de materia seca en la planta es importante porque permite conocer la capacidad de la planta para translocar los fotosintatos de una estructura a otra dependiendo de la etapa fenológica (Fanjul, 1978).

La distribución de fotosintatos y su efecto en la acumulación de la materia seca está influenciada por varios factores ambientales tales como la baja temperatura, sequía y diferencias nutrimentales (Ballesteros, 1997b).

El estatus nutricional de la planta puede cambiar considerablemente la proporción de materia seca y carbohidratos entre tallos y raíces. En plantas deficientes de fósforo la baja relación tallo/raíz está asociada con la acumulación de carbohidratos en las raíces (Fredeen *et al.* 1989; citado por Ballesteros, 1997b).

También cuando hay deficiencias de magnesio y potasio, la alta relación tallo/raíz está acompañada por baja translocación de carbohidratos en la raíz (Cakmak *et al*, 1994a; citado por Ballesteros, 1997b).

Las densidades de población tienen efectos marcados en la morfología de la planta que se reflejan en la distribución del peso seco. Caprio, 1981 (citado por Ballesteros, 1997b), estudió el efecto de la densidad de población en la morfología y asignación de la materia seca en frijoles de diferente hábito de crecimiento y reportó que las variedades de tipo guía poseen una mayor plasticidad en relación a los de tipo mata. También las variedades presentaron un comportamiento diferente en la distribución del peso seco porcentual de los órganos aéreos.

El más conocido de los indicadores de partición final es el índice de cosecha (IC). El índice de cosecha es un parámetro que expresa en porcentaje la asignación de materia seca (de la biomasa total) en los órganos de interés antropocéntrico. Es el cociente del rendimiento agronómico (o económico), entre el rendimiento biológico o biomasa total acumulada en la planta, expresado en porcentaje (Ballesteros 1997b).

2.5 ANÁLISIS DE CRECIMIENTO

El análisis de crecimiento (AC) es una metodología que se desarrolló en Inglaterra y se ha considerado como un método estándar para la estimación de la producción fotosintética neta de las plantas o de los cultivos y se ha definido como el resultado neto del trabajo asimilativo de las plantas durante cierto período de tiempo (Sestak *et al*, 1971; citado por Rodríguez, 1986). El AC representa el primer paso en el análisis de la producción primaria o biomasa y se considera como el punto de unión simple entre el registro de producción de plantas y su análisis con algunos procesos fisiológicos (Rodríguez, 1986).

El crecimiento vegetal puede definirse como el aumento irreversible en el tamaño (longitud, área foliar, diámetro, peso seco, peso fresco y número de células) que ocurre en una o en varias plantas a través del tiempo, generalmente asociado con un aumento en su complejidad estructural y metabólica (Ballesteros, 1997a).

Lioret (1974) y Córdoba (1976) (citados por Torres de la Noval, 1984) consideran al desarrollo como el aspecto más general, conformado por dos procesos individuales: el crecimiento y la diferenciación. Reservando estos autores el término de crecimiento para los aspectos cuantitativos del desarrollo, mientras que el de diferenciación atañe a los aspectos de especialización celular.

Fisher (1984) ; citado por Rubio (1995) menciona que en las plantas superiores el crecimiento es organizado, los órganos de la planta muestran diferentes tasas de crecimiento durante su ciclo de vida, las raíces y los tallos pueden ramificarse y las estructuras formadas en los ápices del tallo pueden generar hojas o estructuras florales.

En el crecimiento de la planta se presentan dos procesos diferentes, el primero se conoce como desarrollo fásico o fenológico y al segundo se le da el nombre de desarrollo morfológico. El desarrollo fásico involucra cambios en las etapas fenológicas asociadas con los cambios en los patrones de repartición de biomasa. El segundo proceso conocido como desarrollo morfológico se refiere al inicio y término de cada etapa de desarrollo de la planta, durante su ciclo de vida (Rubio, 1995).

El análisis de crecimiento tiene su base en los valores primarios que describen el estado morfológico de las plantas en diferentes intervalos de muestreo. Entre los valores primarios se pueden citar: el peso seco total o de las diferentes partes de la planta, el aparato asimilatorio en términos de área foliar, contenido de proteínas o de clorofila en la hoja, etc., puede ser considerado también en número de plantas en una determinada superficie (Rodríguez , 1986).

Para realizar un análisis de productividad de una planta en función de su crecimiento, se requiere de dos principios: la medida del material vegetal existente (P) y la medida del sistema asimilativo de ese material vegetal (A), en intervalos sucesivos del tiempo. En la práctica las variables más comúnmente empleadas para P, es el peso seco total de la planta individual; y para A, el área foliar de la planta.

La determinación del peso seco de las plantas o de sus estructuras resulta relativamente sencilla, requiriéndose de una estufa y de una balanza apropiada. Sin embargo, para el área foliar, variable de fundamental importancia para la productividad de cualquier cultivo (dado que es en las hojas donde fundamentalmente se realiza la fotosíntesis) de forma general resulta laborioso determinarla de forma real, por lo que se han desarrollado diferentes métodos de estimación, que implican la determinación de las dimensiones de la hoja, su peso fresco o seco (Torres de la Noval, 1984).

Torres de la Noval, 1984; menciona que Watson (1952) puntualizó una serie de índices del crecimiento, formulados a partir de las dos variables anteriormente señaladas y que de conjunto conforman el Análisis del Crecimiento, los cuales se definen a continuación:

Tasa Absoluta del Crecimiento (TAC)

El incremento del material vegetal por unidad de tiempo, se denomina Tasa Absoluta del Crecimiento (g. día^{-1}), que no es más que la pendiente de la curva sigmoide en el tiempo "t" y se define matemáticamente como:

$$\text{TAC} = \text{DP} / \text{Dt}$$

donde DP = diferencia de peso seco y Dt= diferencia de tiempo

Frecuentemente la TAC no expresa la intensidad del cambio en su forma más conveniente o lógica, ya que plantas con tasas similares pueden encontrarse en estado fisiológico diferente. Por ejemplo, para una plántula creciendo a una tasa de 1 g. día, con un peso seco total de 1 g, esta puede ser considerada alta; mientras que para otra planta, con un peso seco total de 100g resultaría baja. Es por esto que el índice debe ser manejado con cuidado para fines comparativos.

Tasa de Asimilación Neta (TAN)

El incremento del material vegetal por unidad del sistema asimilativo, por unidad de tiempo, se denomina Tasa de Asimilación Neta ($\text{g. dm}^{-2} \cdot \text{día}^{-1}$). Este índice es obviamente una medida del balance que existe entre la actividad fotosintética y la respiratoria de la planta, y se expresa mediante la ecuación:

$$\text{TAN} = (1/ \text{AF}) (\text{DP} / \text{Dt})$$

donde AF=área foliar; DP= diferencia de peso y Dt= diferencia de tiempo

Según Cline (1966); citado por Ballesteros (1982) la Tasa de Asimilación Neta es uno de los indicadores más sensitivos de la respuesta a la intensidad luminosa; porque el área foliar es un estimador de la magnitud del aparato fotosintético.

Rodríguez , 1986 menciona que la Tasa de Asimilación Neta promedio definida como la tasa de incremento de biomasa por unidad de aparato asimilativo (generalmente área foliar) se expresa matemáticamente como:

$$\text{TAN} = (P_2 - P_1 / \text{AF}_2 - \text{AF}_1) * (\ln \text{AF}_2 - \ln \text{AF}_1 / t_2 - t_1)$$

donde P_2 = peso final; P_1 = peso inicial, AF_2 = área foliar final; AF_1 = área foliar inicial;
 $\ln \text{AF}_1$ = logaritmo natural área foliar inicial; $\ln \text{AF}_2$ = logaritmo natural área foliar final, t_1 = tiempo inicial , t_2 = tiempo final

Índice de Área Foliar (IAF)

El Índice de Área Foliar (IAF) indica el área foliar producida por unidad de terreno (Hunt, 1978). Se expresa matemáticamente como:

$$\text{IAF} = \text{AF}_2 - \text{AF}_1 / P$$

Donde AF_2 = área foliar final; AF_1 = área foliar inicial y P = superficie de terreno

Duración del Área Foliar (DAF)

La Duración del Área Foliar (DAF) es la oportunidad total de asimilación que posee un cultivo durante un período en cuestión (Hunt, 1978). Se expresa mediante la ecuación:

$$DAF = (AF_2 + AF_1) (t_2 - t_1) / 2$$

Donde AF_2 = área foliar final; AF_1 = área foliar inicial; t_2 = tiempo final
y t_1 = tiempo inicial

Es decir, que la DAF es una medida del tiempo que permanece activo el aparato fotosintético (Palomo y Godoy, 1996).

Con base en los índices antes citados se puede mencionar que el análisis de crecimiento es importante porque permite conocer cómo afecta el ambiente, o una práctica cultural, la dinámica del crecimiento y la eficiencia fotosintética de una planta o de una comunidad de plantas respecto a otra, o bien para evaluar el comportamiento de diferentes genotipos en un mismo o en varios ambientes (Palomo y Godoy, 1996).

2.6 RENDIMIENTO

El rendimiento puede considerarse como la expresión fenotípica de interés antropocéntrico, y es la resultante final de los procesos fisiológicos, ecológicos y de manejo, que se reflejan en la morfología de la planta (Kohashi, 1979 y Ballesteros, 1997a).

Los principales componentes fisiológicos del rendimiento son la acumulación de fotosintatos, que puede expresarse como el peso seco total de la planta (rendimiento biológico) o la distribución de dicho fotosintato, representado por el peso seco de la semilla (rendimiento económico o de grano) (Kohashi, 1979).

Escalante y Kohashi (1993) consideran que se puede referir a dos tipos de rendimiento para el caso del frijol, los cuales se definen como: a) Rendimiento biológico y b) Rendimiento de grano.

Rendimiento biológico

El rendimiento biológico, expresado a nivel de planta o población (rendimiento por unidad de superficie), puede consignarse como la materia seca total de la planta y se expresa en términos de peso. También se le llama biomasa. Estrictamente hablando, biomasa debería involucrar sólo a tejidos vivos, pero su separación de los no vivos, que están en funcionamiento, por ejemplo parte del xilema y la corteza, es con frecuencia imposible. Además, debido a la dificultad que representa extraer del suelo el sistema radical, aunque estrictamente debe considerarse el peso de éste para determinar dicho rendimiento, por lo general se considera únicamente el peso de la biomasa del vástago.

La materia seca se cuantifica deshidratando el material vegetal en una estufa con circulación forzada de aire a 80° C, hasta que el peso seco sea constante. Esto se logra en un período mínimo de 72 horas, quedando el material vegetal con un 4 a 8% de humedad residual. Con esta temperatura (80°C) se busca que el tejido vivo muera en corto tiempo. No se recomienda el secado a temperaturas menores (por ejemplo 40°C) porque la disminución en peso del material puede deberse en parte a la pérdida de peso por estímulo de la respiración debido a la temperatura. Tampoco se recomiendan temperaturas mayores porque se desnaturalizan los azúcares y las proteínas.

Rendimiento económico o agronómico

El rendimiento agronómico se conoce en inglés como rendimiento económico. Sin embargo, es preferible no utilizar esta expresión porque tiene un significado propio en el campo de la Economía.

Según sea el órgano de interés antropocéntrico, el rendimiento agronómico puede estar representado por: el peso del fruto o vaina en estado fresco (rendimiento de ejote), o de semilla fresca o del peso seco de la materia seca acumulada en la semilla, generalmente con un 10 a 14% de humedad. Este se conoce como rendimiento de grano o de semilla. El rendimiento agronómico es el resultado del comportamiento de una serie de estructuras de la planta, denominadas componentes del rendimiento, los cuales, de acuerdo a su naturaleza, se han clasificado en morfológicos y fisiológicos (Escalante y Kohashi, 1993).

Componentes morfológicos

Algunos de los componentes morfológicos del rendimiento son: número de semillas normales por planta, tamaño de las semillas, número de vainas normales por planta, número de semillas normales por vaina, número de flores, número de botones florales, número de racimos, número de nudos por planta y número de ramas también por planta .

Los cambios en los componentes morfológicos ocasionan de manera directa cambios en el rendimiento. El número de vainas y de semillas normales por planta son los componentes morfológicos más correlacionados con el rendimiento de grano.

Durante su crecimiento dichos componentes importan y almacenan fotosintatos al igual que los órganos como la raíz, meristemos (yemas vegetativas, entre otros) y hojas jóvenes. Estas últimas, al alcanzar mayor desarrollo, se convierten en exportadoras de fotosintatos. Las regiones de importación y de consumo de fotosintatos se conocen como "demanda fisiológica" o simplemente "demanda" y las de producción y/o exportación de fotosintatos como "fuente de fotosintatos" o simplemente fuente.

Durante la floración del frijol ocurren fenómenos tales como la caída de órganos reproductivos: botones, flores y vainas jóvenes, los cuales, junto con los que se cuantifican a la madurez fisiológica como las vainas vanas, semillas abortadas y rudimentos seminales abortados, ocasionan que el rendimiento agronómico

disminuya. Los órganos reproductivos caídos pertenecen a dos categorías: a) los que sufren abscisión, los cuales en condiciones normales constituyen la gran mayoría; b) los que caen debido a ruptura mecánica del pedicelo por efectos extrínsecos (vientos fuertes, por manejo de la planta). Esta segunda categoría constituye una porción menor de los órganos caídos (Escalante y Kohashi, 1993).

Índice de Cosecha (IC)

La relación que existe entre la materia seca acumulada en la semilla (rendimiento agronómico o de grano) y la biomasa total (rendimiento biológico) al momento de la cosecha en términos de porcentaje, es lo que se denomina Índice de Cosecha (IC) (Jurado, 1995).

Jurado (1995) señala que Wallace y Munger (1966) al observar la dificultad para estimar el peso seco de órganos que sufren abscisión como flores, vainas, etc., propusieron el IC tomando en cuenta solo la proporción que representa el peso seco de la semilla en relación a la materia seca acumulada en la planta a la cosecha (rendimiento biológico), sin incluir órganos caídos de la siguiente manera:

$$IC = \text{Rendimiento de grano} / \text{Rendimiento biológico}$$

El Índice de Cosecha es un indicador de la eficiencia en la translocación de fotosintatos hacia los órganos de importancia económica, en el caso del frijol, las semillas. Se dice que las plantas que acumulan mayor cantidad de materia seca en la semilla en relación al total de las estructuras de la planta, son más eficientes (Jurado, 1995).

Sin embargo, Kohashi *et al.*, 1980 (citados por Jurado, 1995) señalaron que debido a que el peso seco total de la planta en pie a la cosecha no representa el total de la materia seca acumulada durante el desarrollo del cultivo, ya que hay caída de órganos por abscisión de diferente monto de acuerdo a la variedad y éstos no son tomados en cuenta en su determinación; sería deseable tomar en cuenta el peso

seco de órganos caídos. Para ello propusieron el IC modificado (ICm). La fórmula para su determinación es la siguiente:

$$\text{ICm} = (\text{Rs} / \text{Rb} + \text{PSa}) * 100 \quad \text{donde:}$$

Rs = Rendimiento de semilla (peso seco de la semilla)

Rb = Rendimiento biológico total a madurez fisiológica

PSa = Peso seco de los órganos caídos por abscisión

Aunque, White e Izquierdo, 1991 (citados por Jurado, 1995) señalan que es necesario realizar más investigaciones para evaluar si el ICm puede utilizarse como una herramienta para evaluar las limitaciones encontradas en el índice tradicional.

2.7 OBJETIVOS E HIPÓTESIS

OBJETIVO GENERAL:

Comparar la fenología, morfología, crecimiento y rendimiento de tres variedades de *Phaseolus vulgaris* (Pinto Villa, Bayomex y Bayo Mecentral) y una variedad de *P. coccineus* (Blanco Tlaxcala) para conocer las diferencias entre variedades y el potencial del Blanco Tlaxcala como cultivo alternativo.

OBJETIVOS PARTICULARES:

1. Observar las diferencias en inicio y duración de las diferentes etapas fenológicas de las cuatro variedades estudiadas.
2. Describir algunas características morfológicas que diferencian a las variedades estudiadas.
3. Evaluar el crecimiento en términos de aumento de peso seco a través del tiempo de las cuatro variedades estudiadas
4. Calcular índices de crecimiento para comparar las cuatro variedades estudiadas.
5. Obtener el rendimiento biológico y agronómico de las cuatro variedades estudiadas.

HIPÓTESIS:

H_0 = Si hay diferencias en las variables de respuesta entre variedades y especies entonces existen diferencias en el crecimiento y desarrollo de las variedades de *Phaseolus vulgaris* y *P. coccineus*.

H_A = Si no hay diferencias en las variables de respuesta entre variedades y especies entonces no existen diferencias en el crecimiento y desarrollo de las variedades de *Phaseolus vulgaris* y *P. coccineus*.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo consta de dos partes, la primera estudia la fenología, morfología, producción de materia seca y el análisis de crecimiento de tres variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) y una variedad de frijol ayocote (*P. coccineus*). La segunda, al momento de la cosecha, se refiere al rendimiento de ambas especies.

Este estudio se realizó en el ciclo Primavera-Verano de 1997 en terrenos del Campo Agrícola Experimental "Valle de México" (CEVAMEX), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP). La siembra fue el 10 de junio de 1997. Las plántulas emergieron hasta el 19 de junio, debido a que las lluvias se presentaron el 15 de junio.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL

3.1.1 LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

El sitio experimental se encuentra localizado en las cercanías de la Universidad Autónoma de Chapingo a los 19° 29' Latitud Norte y 98° 51' Longitud Oeste, a una altitud de 2240 msnm en el municipio de Texcoco, Edo. de México.

De acuerdo al sistema de Köeppen, modificado por García (1981) el tipo climático de la zona de Chapingo es C (W₀) (W) b (i) g. Los datos climáticos correspondientes son: temperatura media anual de 15°C, el mes más caluroso es mayo, con una temperatura media mensual de 17.7°C y el mes más frío es enero con una temperatura media mensual de 11.6°; la precipitación total anual promedio es de 644.8 mm. Generalmente, las precipitaciones se presentan con mayor intensidad en los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

Durante la investigación se llevó un registro diario de los datos climáticos en la estación meteorológica de Chapingo, localizada a 300 m del sitio experimental. Se consideró la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima ocurridas diariamente. Después, se determinó el promedio de estos valores cada 7 días (desde

el 3 de mayo hasta el 30 de noviembre). En dicho período la precipitación promedio fue de 11.8 mm diarios. la temperatura mínima más baja (2.5°C) fue en la semana del 18 al 24 de octubre y la más alta de las máximas (27.8°C) del 14 al 20 de junio. Durante el periodo de cultivo la precipitación acumulada para el cultivo de frijol común fue de 291.49 mm y para el de frijol ayocote fue de 311.19 (Fig. 2).

La información climática se registró y analizó en el programa SICA del INIFAP Zacatecas. Dicho programa permitió agrupar diferentes variables climáticas ocurridas durante distintos períodos entre cada etapa fenológica de las plantas.

3.1.2 SUELO

La textura del suelo del sitio experimental es migajón arenoso profundo de orden Molisol (clasificación FAO-UNESCO). Los suelos de este orden tienen un epipedón mólico (de color oscuro, rico en humus en los estratos superficiales), generalmente neutro en reacción del suelo (pH=7) y tiene materia orgánica con moderado a alto contenido de nitrógeno (Esquivel, 1995).

3.2 VARIEDADES DE PLANTAS UTILIZADAS

En este trabajo se estudiaron las variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris*) Pinto Villa, Bayomex y Bayo Mecentral y una variedad de frijol ayocote (*P. coccineus*) Blanco Tlaxcala, descritas previamente en la sección de antecedentes de este trabajo..

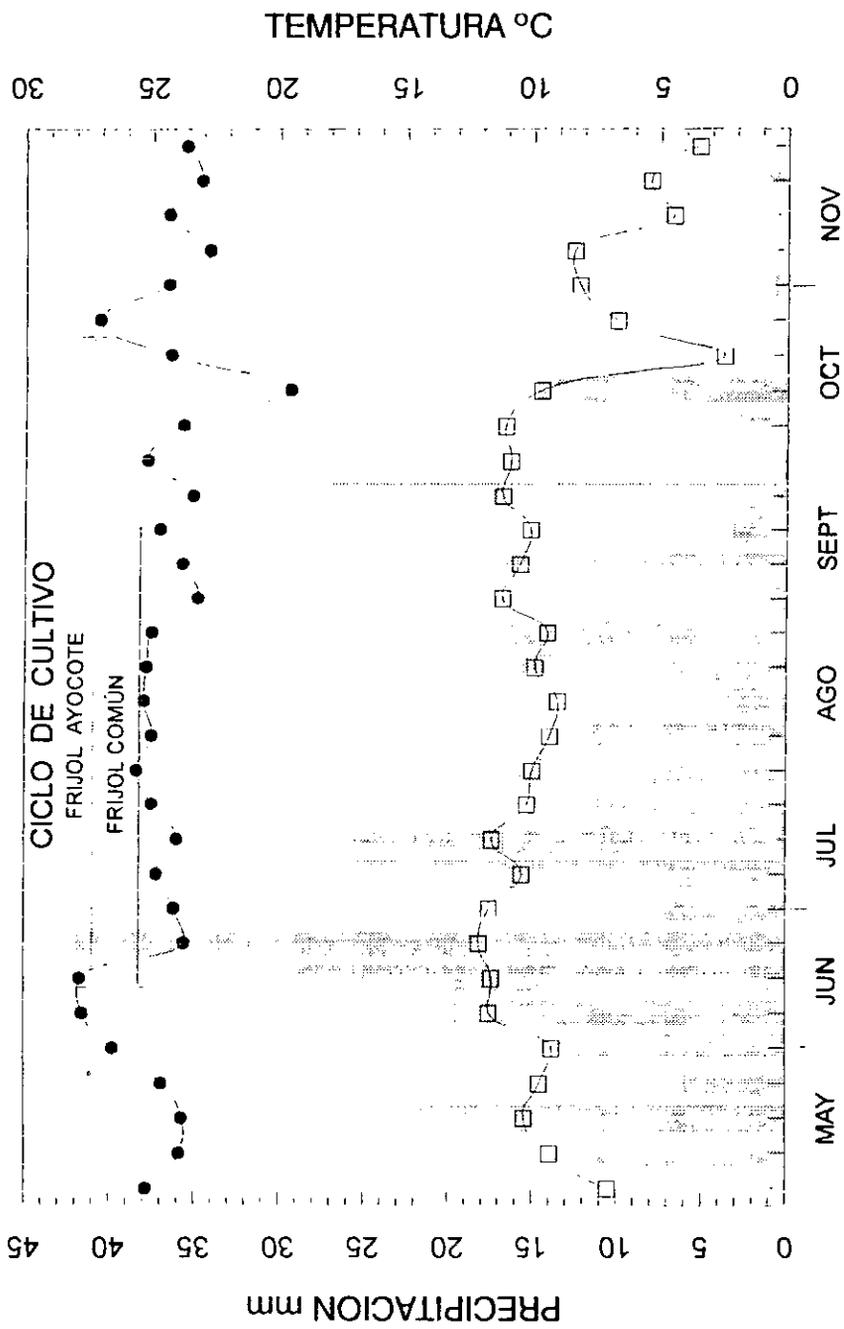


Fig. 2 Promedio de temperatura máxima, mínima y precipitación cada siete días durante el ciclo del cultivo. Chapingo, Méx. 1997.

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

En campo las variedades se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completamente al azar con tres repeticiones. La parcela experimental fue de seis surcos de tres metros de largo a una distancia entre surcos de 0.60 m. Los 2 surcos centrales se conservaron hasta la cosecha para obtener el rendimiento de grano por parcela, en tanto que los 2 surcos adyacentes se utilizaron para realizar muestreos destructivos (Fig. 3).

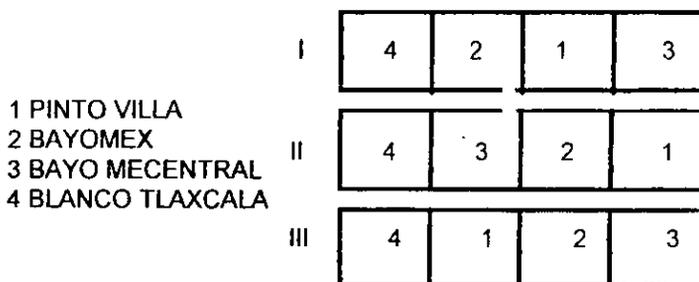


Fig. 3 Diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Cada cuadro es una parcela experimental de 6 surcos de 3 m de largo. Chapingo, México. 1997.

3.4 CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

La fase experimental se inició en junio de 1997 con la siembra de las semillas y finalizó en noviembre del mismo año con la cosecha, trillado y pesado de las cuatro variedades.

La siembra se hizo manual depositando la semilla a una profundidad de 2 a 5 veces su tamaño. *Phaseolus vulgaris* se sembró a una distancia de 5 cm con lo que se obtuvo una densidad de población de alrededor de 280 mil plantas/ha; en tanto que *P. coccineus* se sembró a una distancia de 10 cm (debido su hábito de crecimiento y el tamaño de la semilla) con lo que se obtuvo una densidad de 220 mil plantas/ha. Medio metro lineal de surco tenía 10 plantas de *P. vulgaris* y 6 plantas de *P. coccineus*.

En ambas especies se realizaron muestreos quincenales de plantas completas. Se midió 0.5 m y se cortaban todas las plantas que había en esa distancia. Para *P. vulgaris* los muestreos fueron el 3, 17 y 31 de julio, 14 y 28 de agosto y 11 de septiembre a los 14, 28, 42, 56, 70 y 84 días después de la emergencia (dde). En cambio, para *P. coccineus*, debido a que su ciclo de cultivo fue más largo, además de los antes mencionados se realizaron dos muestreos más, los días 25 de septiembre y 9 de octubre, a los 98 y 112 dde respectivamente.

No se aplicaron agroquímicos (fertilizantes, insecticidas, fungicidas ni herbicidas). Se realizaron deshierbes manuales continuos a través de todo el ciclo de cultivo para evitar la incidencia de malezas que comúnmente crecen en terrenos del CEVAMEX.

En cada variedad se registraron variables de respuesta de: fenología, características morfológicas, producción de materia seca para análisis de crecimiento y rendimiento tanto de grano como biológico (Fig. 4). A continuación se detallan cada una de dichas variables.

3.5 CARACTERÍSTICAS EVALUADAS

A) FENOLOGÍA

Se registró por variedad y repetición la fecha de cada una de las etapas fenológicas definidas para el frijol común (*Phaseolus vulgaris*) a continuación se definen dichas etapas de acuerdo a la clasificación de Solorzano (1994):

V1 Emergencia. Se inicia cuando los cotiledones aparecen al nivel del suelo cuando la planta (*P. vulgaris*) es epigea, cuando es hipógea (*P. coccineus*) es necesario excavar para realizar la observación de los cotiledones desarrollados.

V2 Hojas primarias. Comienza cuando las hojas primarias (unifolioladas y compuestas) están desplegadas.

V3 Primeras hojas trifolioladas. Es cuando la primera hoja trifoliolada se encuentra abierta y ubicada en un plano.

V4 Tercera hoja trifoliolada. Inicia cuando la tercera hoja trifoliolada se encuentra abierta y ubicada en un plano.

R5 Prefloración. Se inicia cuando aparece el primer botón o el primer racimo floral.

R6 Floración. Cuando la planta presenta la primera flor abierta.

R7 Formación de vainas. Cuando la planta presenta la primera vaina con la corola de la flor colgada o desprendida.

R8 Llenado de vainas. Se inicia cuando la primera vaina empieza a llenar.

R9 Madurez fisiológica. Se caracteriza por el inicio de decoloración y secado en las primeras vainas, continua la clorosis, la abscisión foliar y todas las partes de la planta se secan (senescencia).

En el caso de plantas cultivadas, se considera que cada etapa se inicia cuando el 50% de las plantas de la parcela alcanza la característica que define a dicha etapa.

Una vez que se contó con las fechas de cada etapa se realizó una tabla de edad en días para cada variedad y se consideró como día cero el día que emergió la plántula (ver cuadro 1 en anexo). Esta permitió manejar la fenología en días después de la emergencia (dde), definir el período vegetativo y reproductivo, y fue de gran ayuda para calcular la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima ocurrida durante estos periodos.

Período Vegetativo (PV). Para calcular esta variable se consideró el tiempo transcurrido desde que emergió la plántula hasta que la parcela total presentaba un 50% de prefloración (R5).

Período Reproductivo (PR). Se consideró como el tiempo transcurrido en días después de la emergencia, desde el inicio de la prefloración (R5) hasta la cosecha de la planta.

Además del período vegetativo y reproductivo se calcularon:

Período de formación de vainas (PFV). Es el período que ocurre desde la formación de vainas hasta que inicia el llenado de grano (R8 - R7).

Período de llenado de grano (PLLG). Es el período que ocurre desde la etapa de llenado de vainas hasta la madurez fisiológica de cada planta (R9 - R8).

Período Reproductivo Total (PRT). Es el período que ocurre desde la etapa de prefloración (R5) hasta el inicio de la madurez fisiológica (R9).

Índice Reproductivo (IR). La relación entre el período reproductivo y los días a madurez fisiológica de la planta ($PR / R9$). Este representa la proporción en días que las plantas dedicaron a formar estructuras reproductivas.

B) CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS

Para el registro de las variables morfológicas se realizaron muestreos de planta completa (en 0.5 m), cada 15 días a partir de los 14 dde, cuando la plántula se encontraba en etapa V3 (primeras hojas trifoliadas). Se determinó el número de hojas trifolioladas y/o nudos totales por planta, número de vainas y de semillas por planta. El área foliar se determinó en cada muestreo a una cuarta parte del peso fresco total de hojas, para ello se utilizó el integrador de área foliar. El valor se obtuvo en cm^2 y se hizo la conversión a $\text{cm}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ de terreno.

C) PRODUCCION DE MATERIA SECA

En cada muestreo se determinó por separado el peso seco de las diferentes estructuras de la planta como tallos, hojas y fruto (vainas + semillas). Después estos valores se sumaron para obtener el peso seco total.

Para la obtención del peso seco de las plantas o sus estructuras, se utilizó una estufa de circulación de aire interno, en la cual se mantuvo el material durante 72 horas a 80°C hasta obtener el peso seco constante. La medición se hizo con una balanza digital. El peso se obtuvo en gramos y se transformó en $\text{g} \cdot \text{m}^2$, considerando el

tamaño de la muestra (0.5 m) y la distancia entre surcos (0.6 m). Es decir se pesaron en promedio 6 plantas de *P. coccineus* y 10 plantas de *P. vulgaris*.

D) ANÁLISIS DE CRECIMIENTO

Una vez obtenidos los datos de peso seco y área foliar de las estructuras de cada una de las cuatro variedades estudiadas, en intervalos sucesivos de tiempo (cada 15 días) se calcularon los índices de crecimiento siguientes: Tasa Absoluta del Crecimiento (TAC), Tasa de Asimilación Neta (TAN), Índice de Área Foliar (IAF) y la Duración del Área Foliar (DAF) (Cuadro 2).

NOMBRE	ABREVIATURA	FÓRMULA	UNIDADES
Tasa Absoluta del Crecimiento	TAC	$TAC = P_2 - P_1 / t_2 - t_1$	g. día ⁻¹ (peso . tiempo)
Tasa de Asimilación Neta	TAN	$TAN = (P_2 - P_1 / AF_2 - AF_1) (\ln AF_2 - \ln AF_1 / t_2 - t_1)$	g. cm ⁻² . día ⁻¹ (peso . área . tiempo)
Índice de Área Foliar	IAF	$IAF = AF_2 - AF_1 / P$	sin unidades
Duración del Área Foliar	DAF	$DAF = (AF_2 + AF_1) (t_2 - t_1) / 2$	cm ² . día (area . tiempo)

donde P₁ = peso inicial; P₂ = peso final; t₂=tiempo final; t₁= tiempo inicial, ln= logaritmo natural; AF₁ = área foliar inicial y AF₂ = área foliar final y P = superficie de terreno

Cuadro 2. Índices de Crecimiento determinados a tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote.

La TAC se registró para cada estructura de la planta y para la planta completa, de modo que se calcularon diferentes variables, las cuales se designaron con las siglas siguientes:

TACH = Tasa Absoluta del Crecimiento de hojas

TACT = Tasa Absoluta del Crecimiento de tallos

TACTP = Tasa Absoluta del Crecimiento de toda la planta (hojas + tallos)

E) RENDIMIENTO

A los 88 y 95 dde se cosecharon todas las plantas de la parcela útil (2 surcos centrales de 3 m de largo cada uno) de las 3 variedades de frijol común (*P. vulgaris*) Pinto Villa, Bayomex y Bayo Mecentral. Sin embargo, el frijol ayocote (*P. coccineus*) se cosechó hasta los 131 dde debido a que presentó un ciclo más largo.

Rendimiento de Grano

El rendimiento de grano se obtuvo al pesar toda la semilla completa y sana de la parcela útil. También se registró el número de vainas y semillas por parcela, así como el peso de 100 semillas, las cuales se tomaron al azar de la bolsa proveniente de cada parcela.

Rendimiento Biológico

Para la obtención del rendimiento biológico, se pesó la materia seca total de las plantas (parte aérea de las plantas + semillas) y se expresó el resultado en gramos. La materia seca se cuantificó deshidratando el material vegetal en una estufa de circulación forzada de aire a 80°C durante 72 h hasta obtener su peso constante.

Al momento de la cosecha también se contó el número de plantas por parcela y el número de nudos y ramas por planta (en 5 plantas por parcela).

Posteriormente se determinó el Índice de Cosecha (IC) tomando en cuenta el rendimiento de grano y paja de cada parcela, para lo que se utilizó la siguiente fórmula:

$$IC = (\text{rend. de grano} / \text{rend. biológico}) \times 100$$

En este caso se consideró el rendimiento biológico del vástago sin incluir la raíz ni las hojas secas, ya que éstas no se colectaron después de la senescencia. Este índice se expresa en porciento y se dice que es modificado ya que no incluye el peso seco total de la planta.

El método seguido para obtener las diferentes variables de respuesta se muestra en la figura 4.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis de las variables de respuesta antes señaladas se utilizó el paquete SAS (Statistical Analysis System) para microcomputadoras (Rebolledo, 1991). Con los programas de este paquete estadístico se realizaron análisis de varianza (ANOVA), pruebas de comparación de medias (Tukey 0.05) y Regresión Simple.

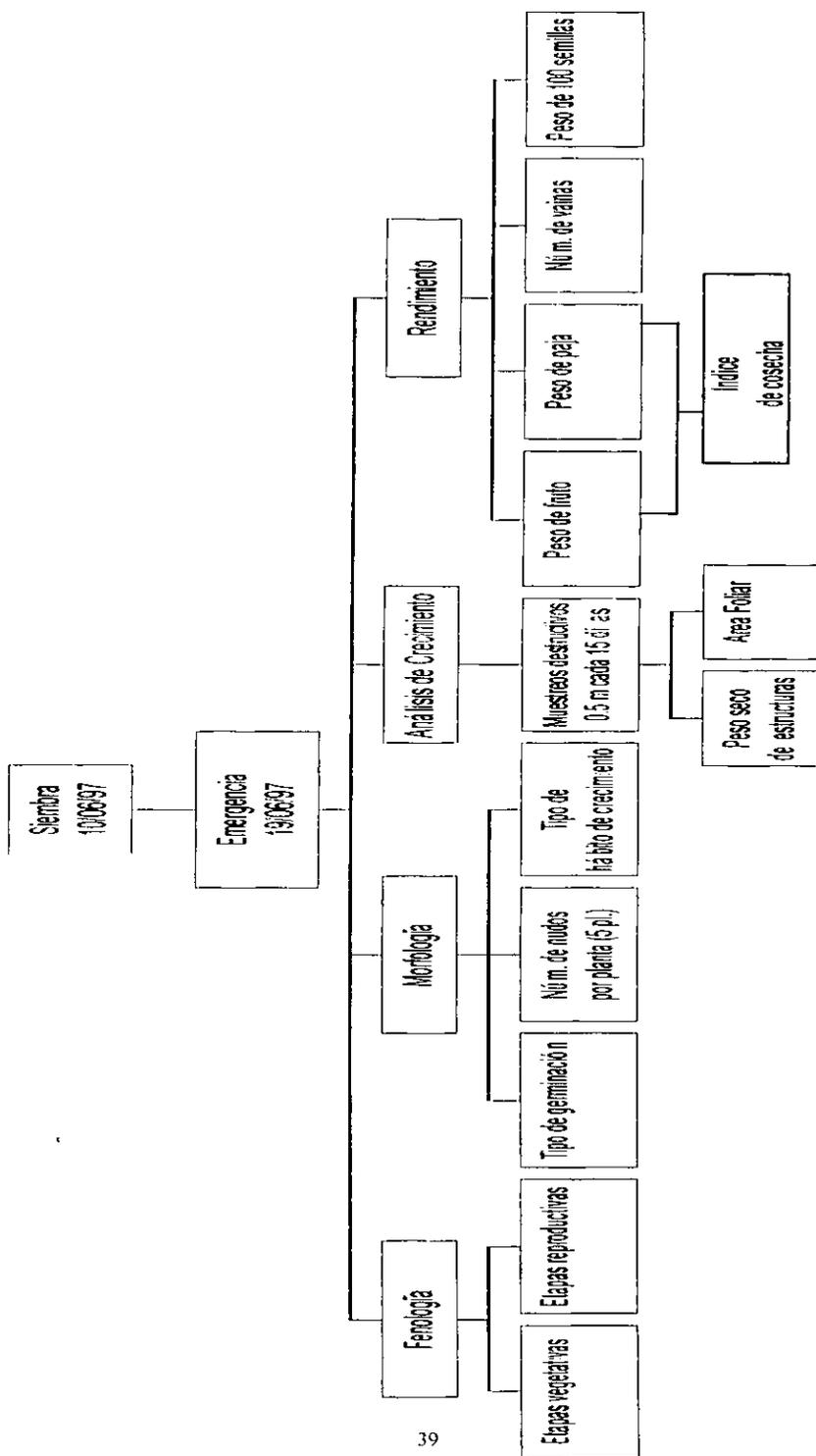


Fig. 4 Diagrama de flujo de las variables de respuesta obtenidas en tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la finalidad de facilitar la presentación de los resultados de este trabajo se separaron las variables de respuesta en aspectos de fenología, descripción morfológica, producción de materia seca, análisis de crecimiento y rendimiento.

4.1. FENOLOGIA

Inicio de Etapas Fenológicas

Para las variedades de frijol común Pinto Villa, Bayomex y Bayo Mecentral la emergencia de plántulas (V2) se observó a los nueve días después de la siembra (dds) mientras que en la variedad de frijol ayocote Blanco Tlaxcala, ocurrió a los diez días después de la siembra.

En el inicio del periodo de prefloración (R5) se observaron diferencias significativas (Tukey 0.05) entre especies y aún entre variedades, Bayo Mecentral se comportó como la más tardía (44 dde), mientras que Blanco Tlaxcala fue la más rápida (33 dde) (Cuadro 3).

El material más precoz a floración (R6) fue la variedad de frijol ayocote Blanco Tlaxcala (a los 39 dde), incluso con menos días a floración que Bayomex (42 dde), en tanto que Bayo Mecentral y Pinto Villa fueron las variedades más tardías (48 y 47 dde respectivamente).

Bayomex inició primero la formación de vainas (R7) a los 48 dde debido principalmente a su tipo de hábito de crecimiento determinado o "de mata" en el que la etapa de floración es corta y la madurez de todas las vainas de la planta ocurre al mismo tiempo (CIAT, 1984). En Pinto Villa y Bayo Mecentral la etapa de formación de vainas inició a los 55 y 52 dde respectivamente. En cambio la variedad Blanco Tlaxcala tardó más en iniciar su formación de vainas (a los 64 dde) (Cuadro 3 y Fig. 5).

VARIEDAD	PF (R5)	F (R6)	FV (R7)	LLV (R8)	MF (R9)
PINTO VILLA	39.0 B	47 AB	52.0 CB	56.6 C	78.0 C
BAYOMEX	36.6 B	42 BC	48.6 C	58.0 BC	83.3 CB
BAYO MECENTRAL	44.3 A	48 A	55.3 B	66.3 AB	88.6 B
BLANCO TLAXCALA	33.0 C	39 C	64.0 A	70.0 A	118.0 A

PF (R5) =prefloración; F (R6) =floración; FV (R7) =formación de vainas; LLV (R8) =llenado de vainas; MF (R9) =madurez fisiológica.

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 3. Inicio de Etapas fenológicas en días después de la emergencia (dde) de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx., 1997.

Se encontró diferencia significativa entre las variedades de frijol común y la variedad de frijol ayocote en la formación de vainas (R7), esto se debió a la habilidad de *Phaseolus vulgaris* para autopolinizarse automáticamente en un alto grado; en tanto que *P. coccineus* presenta un bajo porcentaje de autopolinización por lo que se le ha clasificado como especie alógama, ya que requiere de la mediación de insectos para la polinización (Búrquez, 1979; Muruaga *et al*, 1992) (Cuadro 3 y Fig. 5).

Desde la etapa de llenado de vainas (R8) y hasta la madurez fisiológica (R9) la variedad con mayor precocidad fue Pinto Villa y la más tardía Blanco Tlaxcala (Cuadro 3 y Fig. 5).

En general, en cuanto a inicio de etapas fenológicas se observaron diferencias significativas entre especies, más que entre variedades (Cuadro 3 y Fig. 5).

Duración de Etapas Fenológicas

El período vegetativo de Blanco Tlaxcala (33 dde), de crecimiento indeterminado o "de semiguía", fue similar al de Pinto Villa (39 dde) y Bayomex (37 dde), aunque esta última es de crecimiento determinado o de "mata". En cambio, Bayo Mecentral también de crecimiento indeterminado presentó de 6 a 12 días más de período vegetativo que las otras variedades (Fig. 5).

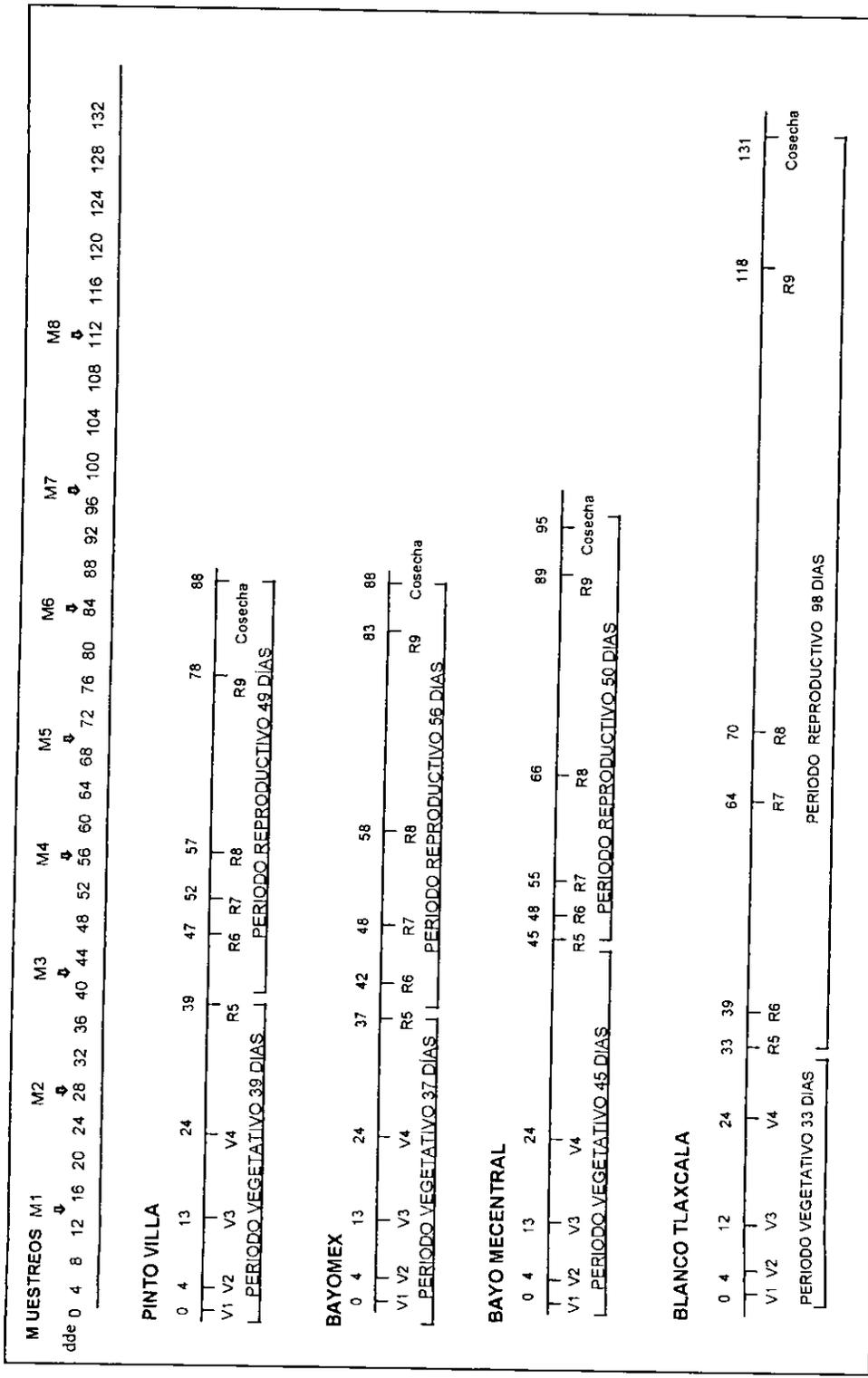


Fig. 5. Distribución de periodos vegetativo y reproductivo de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote a través del tiempo. Chapingo, Méx. 1997. Ver descripción de etapas fenológicas V y R en págs. 33-34.

En el Blanco Tlaxcala el crecimiento vegetativo continuó hasta los 131 dde, aún cuando a partir del inicio del período reproductivo la planta produjo estructuras reproductiva. Esto también sucedió en las variedades Pinto Villa (78 dde) y Bayo Mecentral (89 dde), debido a que son variedades de crecimiento indeterminado con la capacidad de continuar su crecimiento vegetativo paralelo con el crecimiento reproductivo (Fig. 5).

Durante el período de floración a la formación de vainas se observó diferencia significativa entre la variedad de frijol ayocote y las variedades de frijol común. En Blanco Tlaxcala se tuvo un período largo de floración (25 dde), de tres a cinco veces mayor que en las otras variedades (Fig. 5).

Para las variedades de *P. vulgaris* el período de formación de vainas (R7 a R8) más corto lo presentó Pinto Villa (5 dde) y el más largo Bayo Mecentral (11 dde), ambos de crecimiento indeterminado (Cuadro 4 y Fig. 5). En este tipo de hábito de crecimiento (semiguía) las plantas continúan creciendo durante la etapa de floración (CIAT, 1984).

Por otra parte, Bayomex de crecimiento determinado (de mata) y el Bayo Mecentral de crecimiento indeterminado (semiguía) tuvieron el mismo período de formación de vainas (11 dde) (Cuadro 4 y Fig. 5).

VARIEDAD	PFV	PLLG	PRT	IR
PINTO VILLA	4.6 B	21.3 B	39.0 C	0.50 C
BAYOMEX	11.0 AB	25.3 B	46.0 B	0.55 B
BAYO MECENTRAL	11.0 A	22.3 B	44.0 B	0.49 CB
BLANCO TLAXCALA	6.0 AB	48.0 A	85.0 A	0.72 A

• PFV = período de formación de vainas; PLLG= período de llenado de grano;

PRT = período reproductivo; IR = índice reproductivo.

Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 4. Duración de períodos fenológicos en días después de la emergencia (dde) de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx., 1997.

Con respecto al período de llenado de grano (R8 a R9), la variedad de *P. coccineus* presentó un período dos veces más largo (48 dde) que las tres variedades de *P. vulgaris*, lo cual se debió a que es un material que tiende a ser perenne y, por lo tanto aunque comenzó el llenado de grano, la planta continúa con la producción de hojas, lo cual puede ocasionar que en un mayor tiempo la planta logre llenar completamente las vainas (Cuadro 4 y Fig. 5).

En general, se puede decir que el período reproductivo (PRT), el cual comprende desde el inicio de prefloración (R5) hasta la madurez fisiológica (R9), fue más corto para Pinto Villa (39 dde) y más largo para Blanco Tlaxcala (85 dde), mientras que entre Bayomex y Bayo Mecentral (46 y 44 dde) no hubo diferencias significativas (Tukey 0.05).

El mayor índice reproductivo, lo presentó Blanco Tlaxcala (0.79). Este índice es el reflejo de la duración del período reproductivo en relación al ciclo total del cultivo, por lo que se puede observar que la variedad Blanco Tlaxcala mostró el ciclo reproductivo más largo por su carácter de especie que tiende a la perennidad aunque en este caso fue tratada como un cultivo anual (Cuadro 4).

Pinto Villa fue la variedad más precoz a madurez fisiológica (R9) (78 dde), esto se debió a que las condiciones climáticas extremadamente secas ocurridas durante el ciclo de cultivo, fueron semejantes a las condiciones de las regiones semiáridas de Durango en donde fue seleccionado y desarrollado este material (Cuadro 4 y Fig. 5).

La variedad de frijol ayocote fue la de ciclo más largo (131 dde), por su tendencia a la perennidad, aunque fue tratado como un cultivo anual, en cambio en frijol común Pinto Villa y Bayomex fueron las de ciclo más corto (88 dde).

Otra de las características observadas en *P. coccineus* fue que la etapa de llenado de vainas (R8) se inició poco después que en las variedades de *P. vulgaris*. Aunque, es necesario mencionar que no se puede considerar que al iniciar una etapa fenológica necesariamente se terminó la anterior, sino que éstas se traslapan (Fig. 5).

4.2 DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA

El estudio de los componentes morfológicos se hizo por algunos caracteres visibles a escala macroscópica. El examen de cada uno por separado, facilita el estudio general, pero se debe ver y comprender la planta en su totalidad (CIAT, 1984). En este estudio se observaron algunas características morfológicas que permitieron diferenciar las variedades estudiadas.

Una de las características morfológicas que diferenció a las especies estudiadas fue su tipo de germinación; en *Phaseolus vulgaris* es epigea y en *P. coccineus* es de tipo hipógea, por lo que fue necesario excavar para ver los cotiledones y constatar el inicio de la etapa de emergencia (V1).

En cuanto al hábito de crecimiento la variedad Bayomex fue la única que presentó hábito de crecimiento determinado o "de mata" (Tipo I) (Campos y Garza, 1990). Este tipo de hábito de crecimiento se caracteriza porque el tallo y las ramas terminan en una inflorescencia bien desarrollada, generalmente el tallo es fuerte, con un bajo número de entrenudos cortos, la etapa de floración es corta y la madurez de todas las vainas ocurre casi al mismo tiempo (CIAT, 1984).

En cambio las variedades Pinto Villa, Bayo Mecentral y Blanco Tlaxcala tuvieron un hábito de crecimiento indeterminado o de "semiguía" (Tipo III). Las características de este hábito de crecimiento son: plantas prostradas o semiprostradas con ramificación bien desarrollada, la altura de las plantas es superior a las plantas tipo I, presentan un número de nudos mayor a las del tipo I, la longitud de los entrenudos es amplia, por lo cual tanto el tallo como las ramas terminan en guías (CIAT, 1984).

En cuanto al número de nudos producidos por planta a través del tiempo, se observó que Bayomex presentó el comportamiento esperado, es decir tuvo la menor cantidad de nudos en comparación con las variedades de hábito de crecimiento indeterminado, además de que después de la floración ya no formó nudos (Fig. 6).

La variedad Blanco Tlaxcala tuvo la mayor cantidad de nudos y además los produjo por un período de tiempo más largo debido al hábito de crecimiento indeterminado y a su tendencia a la perennidad (Fig. 6).

Para Pinto Villa y Bayo Mecentral, variedades de hábito de crecimiento indeterminado y de ciclo anual, el aumento en el número de nudos a través del tiempo fue mínimo, debido a que las condiciones climáticas propiciaron que el ciclo de cultivo fuera más corto (78 y 89 días respectivamente) y las plantas produjeron más estructuras reproductivas como se observa en la figura 12.

Se consideró importante realizar una comparación del número de nudos que presentaron las variedades en el período de floración y en la cosecha para saber en que porcentaje aumentaron.

Al realizar una comparación del número de nudos por planta después del inicio de floración y a la cosecha, se encontró que en todas las variedades ocurrió un aumento a través del tiempo, pero se observó diferencia entre variedades y especies. Las variedades de frijol común Pinto Villa, Bayomex y Bayo Mecentral tuvieron aumentos del 6, 1 y 30 por ciento respectivamente, en cambio la variedad de frijol ayocote, Blanco Tlaxcala, aumentó en un 57 por ciento el número de nudos de floración a cosecha (Fig. 6).

Por lo tanto, la producción de nudos por planta a floración fue similar en las cuatro variedades, sin embargo a cosecha hubo una diferencia significativa entre las variedades de frijol común y la variedad de frijol ayocote (Tukey 0.05). Esta diferencia entre especies se explica porque *P. coccineus* presenta hábito de crecimiento indeterminado y tendencia a ser perenne.

En lo referente al número de vainas producidas a cosecha no se encontraron diferencias significativas entre variedades. Aunque se observó que Pinto Villa tuvo el mayor número de vainas (170) en tanto que Blanco Tlaxcala presentó la menor cantidad (81.5) de las mismas (Fig. 7).

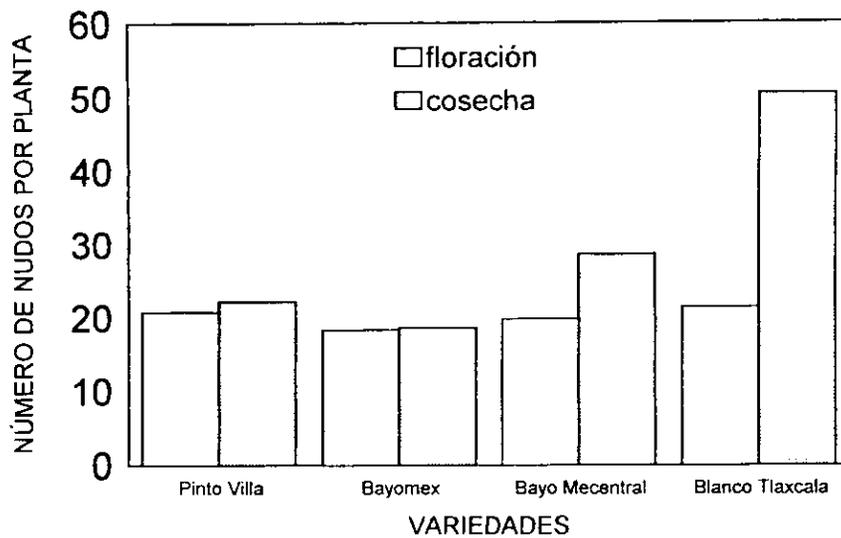


Fig. 6 Número de nudos por planta a floración y a cosecha en tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.

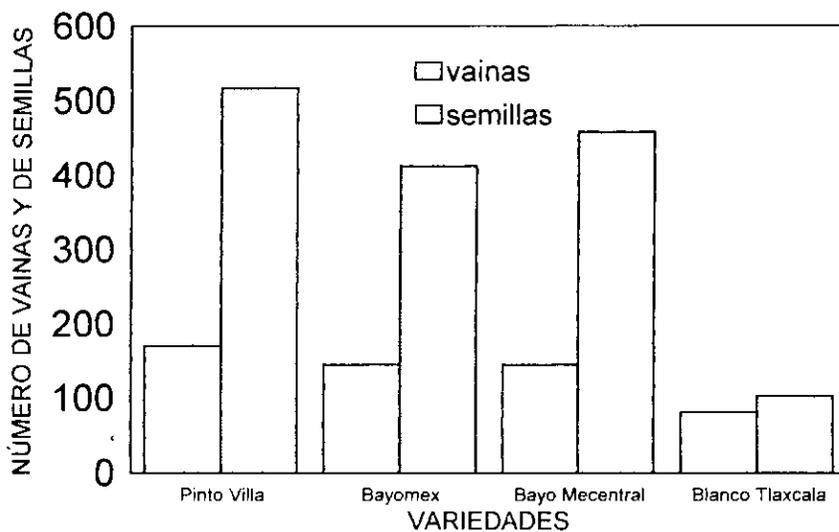


Fig. 7 Número de vainas y semillas a cosecha en tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.

Esta diferencia se debió a que como mencionó Búrquez (1979) es una especie alógama que necesita la presencia de abejorros (*Bombus* spp.) y abejas (*Apis mellifera*) (Salamini y Uncini, 1979; citado por Campion, 1995).

Para el número de semillas producidas a cosecha las variedades de frijol común mostraron diferencias significativas con respecto a la variedad de frijol ayocote. Este último formó solamente un 28 por ciento de semillas a partir de vainas, en cambio Pinto Villa, Bayomex y Bayo Mecentral formaron 67, 88 y 68 por ciento de semillas a partir de sus vainas (Fig. 7).

Por otro lado, el área foliar es el componente morfológico y fisiológico más importante en el crecimiento y los rendimientos de un cultivo, pues está asociado con los niveles de fotosíntesis (Ballesteros, 1997a). En las variedades de frijol común se observó un comportamiento que representa una curva de campana, en donde hubo un aumento hasta llegar a los 56 dde, para después disminuir en forma paulatina. En cambio, la variedad de frijol ayocote tuvo un comportamiento distinto, ya que hubo un aumento a los 42 dde y después se mantuvo constante a través del tiempo hasta los 112 dde. Los valores del frijol común fueron mayores a los del frijol ayocote durante todo el ciclo (Fig. 8).

En la variedad de ayocote se obtuvo menor área foliar durante el ciclo. También se observó que las variedades de frijol común de hábito de crecimiento indeterminado (Pinto Villa y Bayo Mecentral) mostraron mayores valores de área foliar que el de hábito de crecimiento determinado (Bayomex) (Fig. 8).

Se encontró que la producción de semillas en las variedades estudiadas fue inversamente proporcional al área foliar producida después de los 70 dde, cuando todas las variedades se encontraban en la etapa de llenado de grano (R8).

En la variedad de frijol ayocote, Blanco Tlaxcala, se observó una mayor área foliar durante dicha etapa, esto quizá se debió a que la mayor cantidad de carbohidratos permaneció en las hojas y no fueron translocados hacia las semillas.

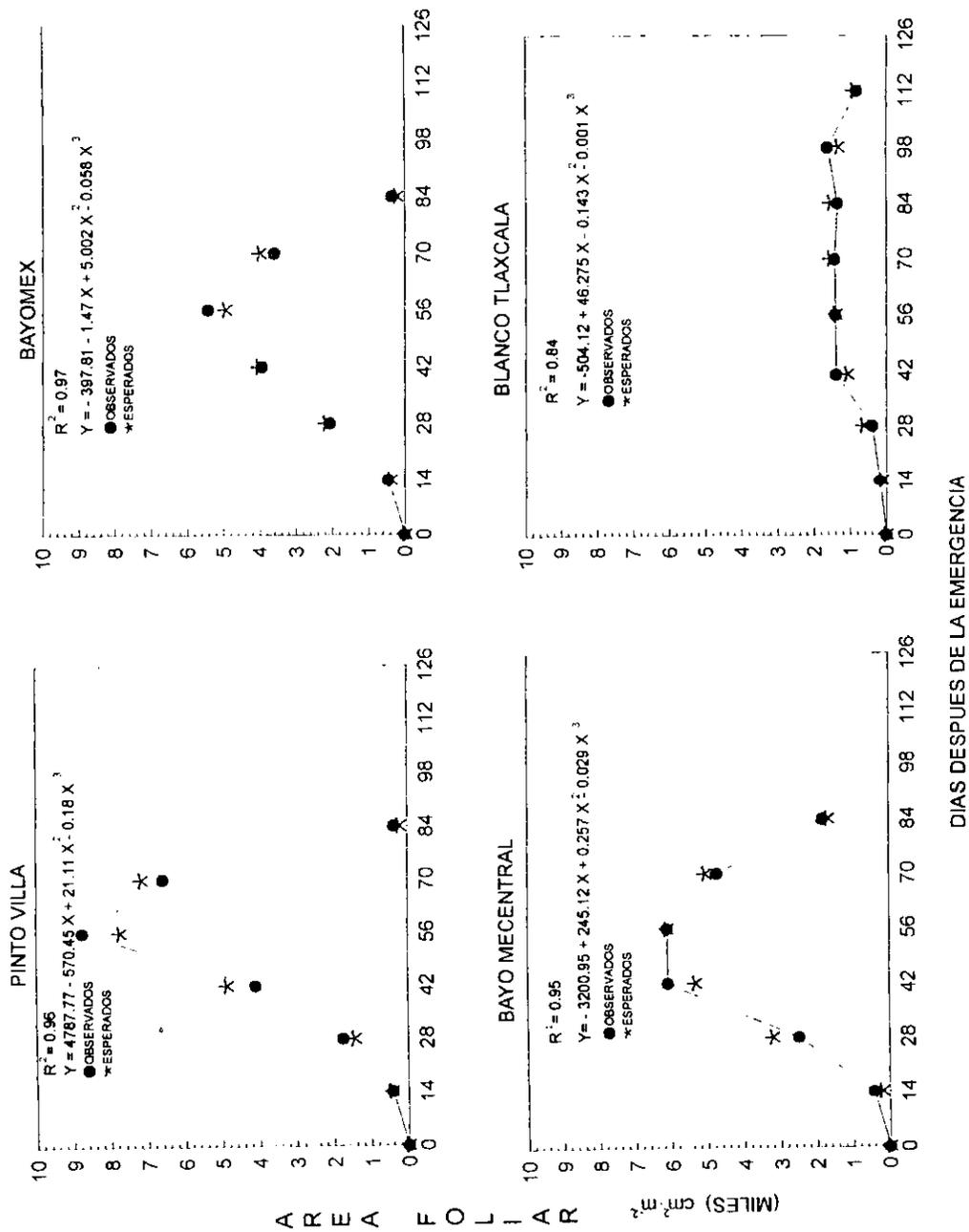


Fig. 8 Área Foliar de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx., 1997.

4.3 PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA

La materia seca se utiliza como parámetro para el estudio del crecimiento vegetal, porque representa la producción fotosintética aparente de las plantas (Escalante y Kohashi, 1993).

La acumulación de materia seca de las estructuras de la planta, al igual que la producción de área foliar se expresaron mediante funciones polinómicas de tercer orden, con las cuales de forma preliminar se puede conocer la acumulación de materia seca de las diferentes etapas de crecimiento de la planta.

La ecuación general que describió el crecimiento de las estructuras de las plantas a través del ciclo del cultivo, fue de la forma:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \beta_3 X^3$$

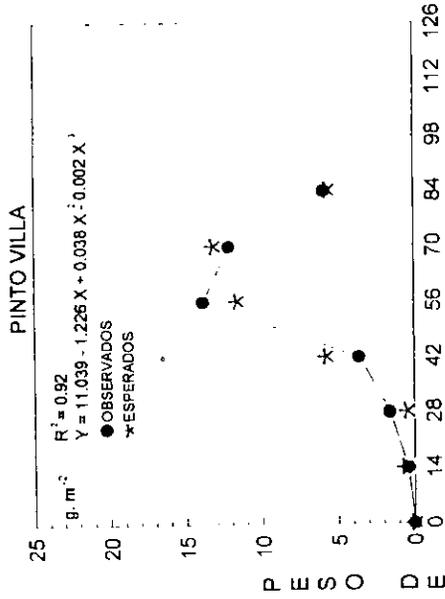
Esta ecuación se obtuvo con el uso de un análisis de regresión lineal simple, mediante el paquete SAS (Statistical Analysis System); las curvas ajustadas reprodujeron el crecimiento de tallos, hojas, área foliar y peso seco total de las plantas de las tres variedades de frijol común y la variedad de frijol ayocote en función de los días después de la emergencia (dde).

A continuación se describe la trayectoria a través del tiempo del peso seco de diferentes estructuras de la planta obtenido en algunas etapas fenológicas durante el ciclo del cultivo.

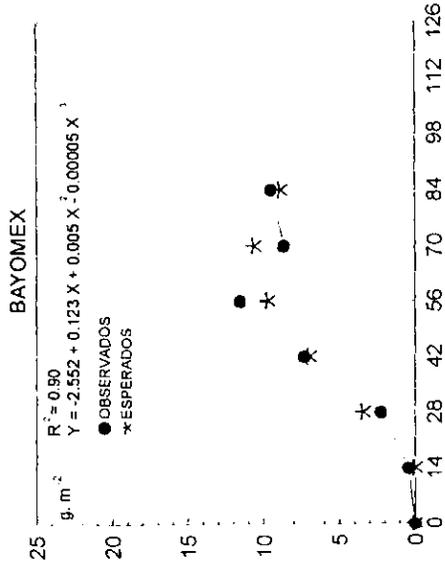
Tallos

En el caso del peso de tallos en las tres variedades de *P. vulgaris* alcanzaron su máximo valor a los 56 dde cuando las plantas se encontraban en la etapa de formación de vainas (R7). Estos valores que oscilaron entre los 10 y 15 g.m⁻² representaron del 34 al 43 por ciento del peso seco total de la planta (Fig. 9).

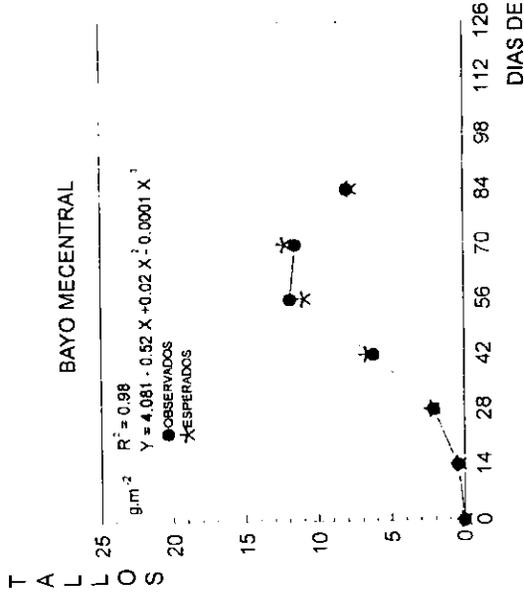
PINTO VILLA



BAYOMEX



BAYO MECENTRAL



BLANCO TLAXCALA

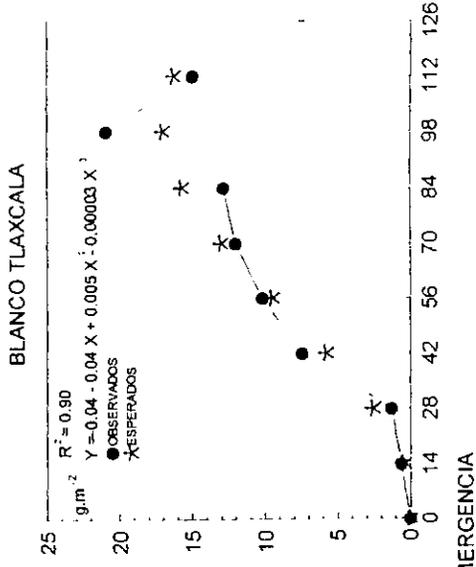


Fig. 9 Peso seco de tallos de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx., 1997.

En cambio, la variedad de *P. coccineus* presentó el mayor peso seco de tallos hasta los 98 dde cuando estaba en etapa de llenado de vainas (R8), este valor (25.16 g. cm⁻²) fue más alto que los de *P. vulgaris* y representó el 62 por ciento del peso seco total (Fig. 9).

Las variedades de ciclo largo, Blanco Tlaxcala (con tendencia a ser perenne) y Bayo Mecentral, las dos con tipo de crecimiento indeterminado tuvieron mayor peso seco máximo de tallos que la variedad de ciclo corto (Bayomex). Esto coincide con Rodríguez (1986) quien menciona que la materia seca tiene una relación directa con el ciclo vegetativo del cultivo. Sin embargo, la variedad Pinto Villa por ser precoz presentó un valor ligeramente más alto que el Bayo Mecentral (Fig. 9).

Hojas

En las curvas de peso seco de hojas y área foliar de las tres variedades de frijol común (Pinto Villa, Bayomex y Bayo Mecentral) se distinguieron tres fases: una inicial en la que el crecimiento es lento (hasta los 42 dde), una intermedia en la que el crecimiento es rápido (56 dde, cuando se alcanzó el valor máximo) y la última en la que inició el decrecimiento (70 y 84 dde) debido a la senescencia natural de la planta (Figs. 8 y 10). Esto se debió a que como menciona Ballesteros (1982), los valores de peso seco de hojas pueden aumentar hasta cuando se inicia el envejecimiento y una abscisión marcada de hojas maduras, debido al flujo preferente de fotosintatos hacia los frutos y por los procesos posteriores de translocación desde las hojas viejas hacia las zonas de mayor actividad metabólica.

Por otro lado, en la variedad de frijol ayocote en la curva de crecimiento de hojas y área foliar se observó que la fase inicial, es decir de crecimiento lento, se mantuvo durante varios muestreos y la intermedia (crecimiento rápido) se alcanzó hasta los 98 dde para hojas y el área foliar, después se llegó a la última fase, es decir que los valores comenzaron a disminuir paulatinamente (Figs. 8 y 10).

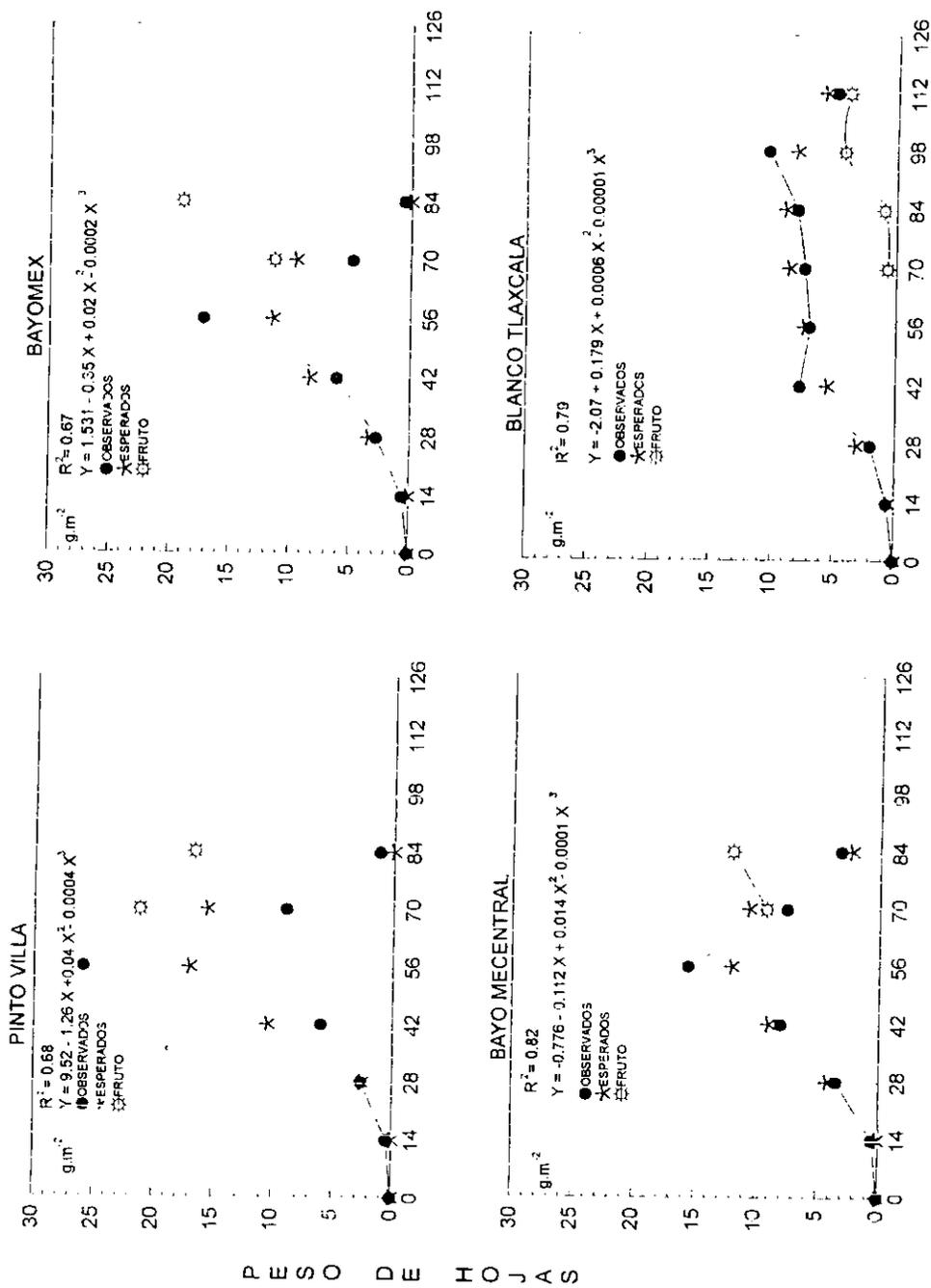


Fig. 10 Peso seco de hojas y frutos de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx., 1997

Pinto Villa fue el material que obtuvo el valor más alto en el peso seco de hojas (mayor a 25 g. m^{-2}), mientras que Bayomex y Bayo Mecentral presentaron valores menores ($< 20 \text{ g. m}^{-2}$). Las tres variedades tuvieron su máximo valor a los 56 dde, cuando las plantas se encontraban en la etapa R7 (formación de vainas) (Fig. 10).

Para el Blanco Tlaxcala los valores más altos de peso seco de hojas oscilaron entre 10 y 15 g. m^{-2} , estos valores se alcanzaron a partir de los 42 dde hasta los 98 dde, es decir desde la floración hasta el llenado de vainas (Fig. 10).

En general, para las variedades de frijol común se observó que el peso de la producción de hojas después de alcanzar los valores máximos, empezó a reducirse, y estos cambios coincidieron con las etapas en que el peso seco de las vainas se incrementó notablemente en las variedades Bayomex y Bayo Mecentral, mientras que en ese momento Pinto Villa ya había alcanzado su peso máximo e incluso comenzó a perder agua y prepararse para la madurez (Fig. 10).

Frutos

Como se mencionó anteriormente, en las variedades de frijol común Bayomex y Bayo Mecentral al disminuir el peso seco de hojas aumentó el peso seco de frutos, lo que quizá se debió a que las plantas iniciaron su senescencia foliar.

Para la variedad de frijol ayocote los valores de peso de frutos (vainas más semillas) comenzaron a aumentar a partir de los 84 dde cuando las plantas se encontraban en la etapa de llenado de vainas (R8) (Fig. 10).

Biomasa Total

En las variedades de *P. vulgaris* la máxima acumulación de materia seca se alcanzó entre los 56 y 70 dde. La variedad Pinto Villa tuvo el valor más alto (mayor de 35 g.m^{-2}), mientras que las variedades Bayomex y Bayo Mecentral mostraron una producción similar (menor a 30 g. m^{-2}) aunque tienen hábitos de crecimiento diferentes (Fig. 11).

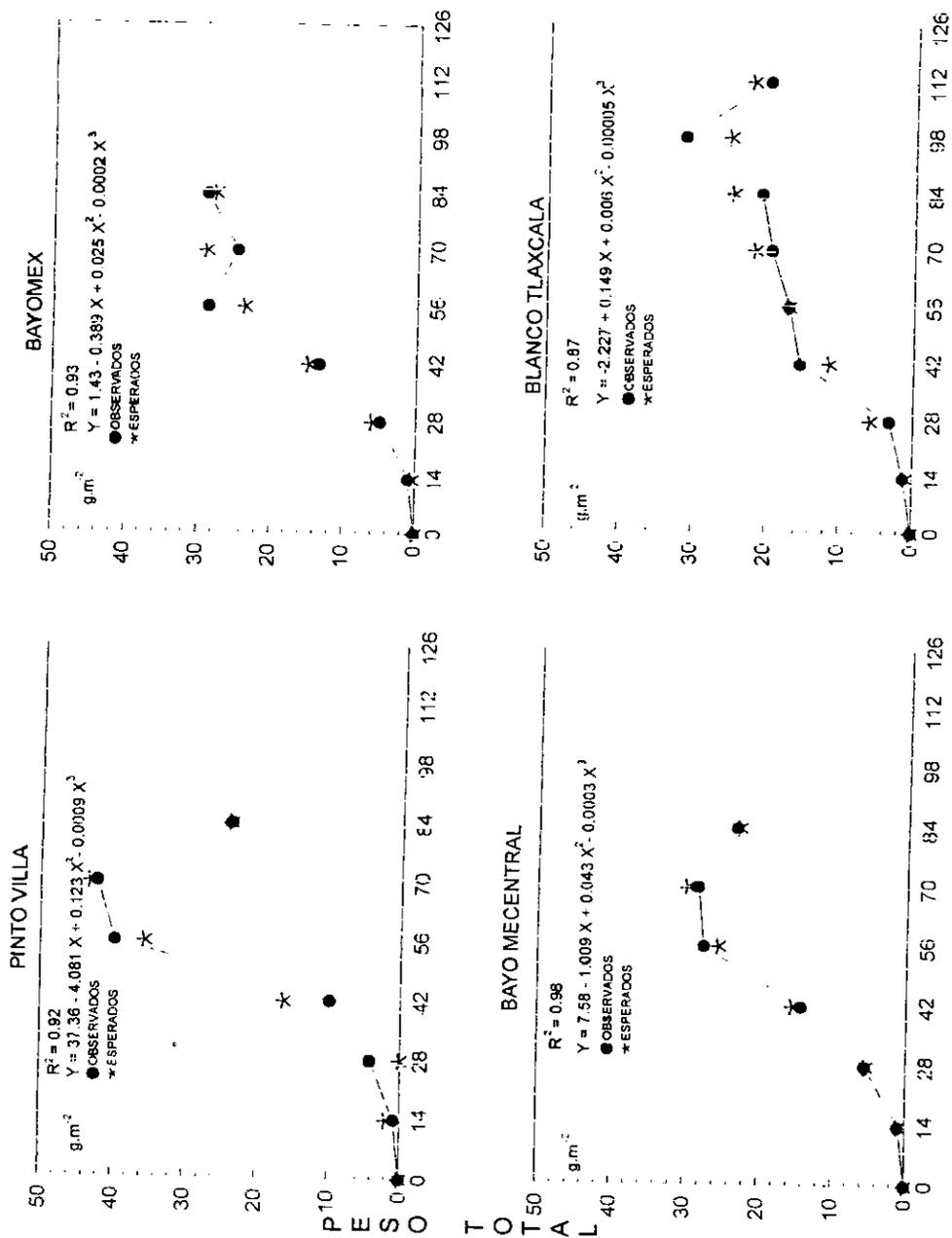


FIG. 11 Peso seco total de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx., 1997

Para la variedad de frijol ayocote la producción de materia seca total tuvo un comportamiento parecido al del frijol común pero durante un período más largo, se observó desde los 42 dde hasta los 112 dde un valor mayor a $20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ (Fig. 11).

Distribución de Materia Seca

Para conocer la distribución de materia seca dentro de las plantas de una misma variedad, se consideró el peso de sus diferentes estructuras (hojas, tallos y frutos) en un momento determinado del desarrollo.

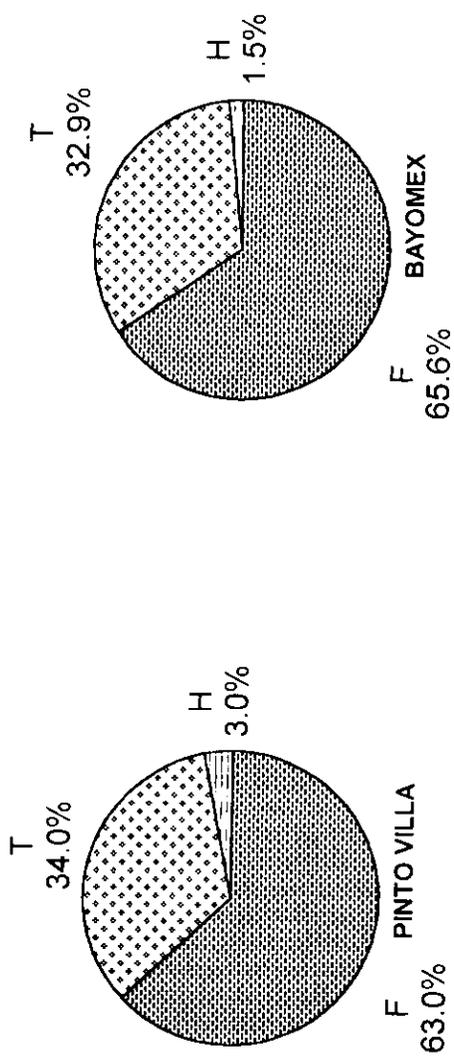
Dicha distribución se obtuvo al considerar diferentes momentos dependiendo éste último de la especie. Así, a las variedades de *P. vulgaris* y a la variedad de *P. coccineus* se les midió la distribución de materia seca cerca del inicio de la etapa de madurez fisiológica. Sin embargo, dicha etapa *P. vulgaris* la alcanzó cerca de los 84 dde y *P. coccineus* hasta los 112 dde.

En esta etapa, las variedades de *P. vulgaris* mostraron una distribución de materia seca similar, ya que al tener alrededor de 60 días llenando grano, presentaron entre un 53 y 66 por ciento de su peso seco total en su fruto (vainas+ semillas). El comportamiento de tallos y hojas también fue similar de modo que alrededor del 34 por ciento de su peso lo tuvieron en tallos y apenas entre un 3 y 11 por ciento en su peso seco de hojas. Este bajo valor en la distribución del peso de sus hojas se debió a que Pinto Villa y Bayomex con valores de 3 y 1.4 por ciento ya habían iniciado su madurez fisiológica desde 6 y 2 días antes respectivamente, en tanto que a Bayo Mecentral con un mayor valor (11 por ciento) aún le faltaban 5 días para alcanzar dicha etapa (Fig. 12).

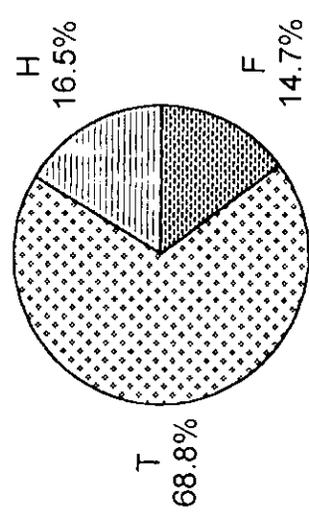
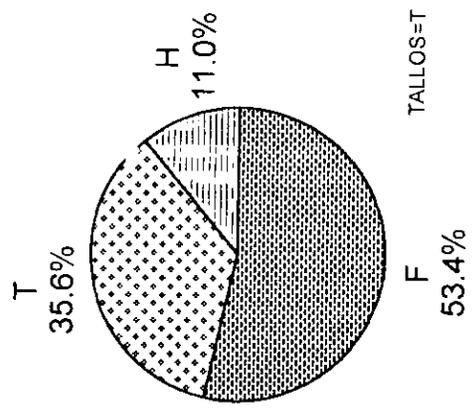
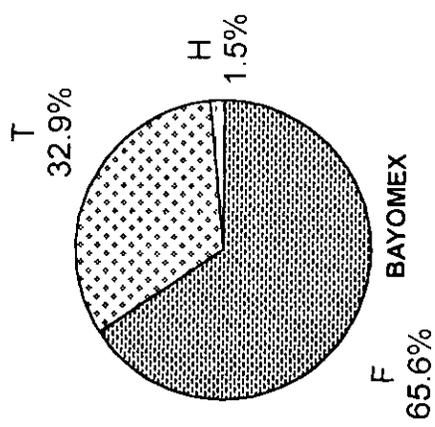
En cambio, la variedad de *P. coccineus* mostró una distribución de materia seca diferente a *P. vulgaris*, ya que presentó solamente un 14 por ciento de su peso seco total en fruto.

La distribución de peso seco de tallos de *P. coccineus* fue el doble que en *P. vulgaris*, lo cual quizá se debió al desarrollo de un mayor número de nudos y entrenudos de *P. coccineus*, ya que al momento de la cosecha éste había formado el doble de nudos que *P. vulgaris*.

En cuanto a la distribución del peso seco de hojas, *P. coccineus* tuvo un valor del 16 por ciento el cual fue similar a Bayo Mecentral (11 por ciento): esta similitud se debió a que a ambos materiales aún les faltaban 6 días para iniciar su madurez fisiológica y por lo tanto la senescencia de sus hojas (Fig. 12).



BAYOMEX



TALLOS=T HOJAS=H FRUTOS=F

BAYO MECENTRAL

BLANCO TLAXCALA

Fig. 12 Distribución de la materia seca por planta en la etapa de madurez fisiológica de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.

4.4 ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO

Al igual que otros autores (Hunt, 1978, Torres de la Noval, 1984 y Fisher, 1984; citado por Rubio, 1995) el análisis de crecimiento permitió determinar la dinámica del crecimiento de ambas especies de *Phaseolus*. Lo anterior a su vez también permitió compararlos entre sí, estudiar la distribución de biomasa en la planta y determinar algunos índices de eficiencia del crecimiento.

A continuación se describe el comportamiento de dichos índices obtenidos para diferentes estructuras de la planta a través del tiempo.

TASA ABSOLUTA DEL CRECIMIENTO (TAC)

La Tasa Absoluta del Crecimiento (TAC) indicó el incremento de material vegetal obtenido por unidad de tiempo, y se obtuvo para hojas (H) y tallos (T). Además, después se sumaron los valores de los pesos de estos órganos para obtener la TAC de toda la planta.

TASA ABSOLUTA DE CRECIMIENTO DE HOJAS (TACH)

Al considerar la Tasa Absoluta de Crecimiento de todos los muestreos a través del tiempo se observaron comportamientos distintos entre especies y/o variedades. Las tres variedades de *P. vulgaris* tuvieron una TAC de hojas que aumentó desde 0.15 $\text{g.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$ en la etapa V3 hasta 1.4 $\text{g.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$ en el periodo que va desde la prefloración a formación de vainas (R5-R7); en tanto que la variedad de *P. coccineus* tuvo una menor TAC de hojas, 0.095 en V3 y sólo aumentó hasta 0.412 $\text{g.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$ en la etapa de prefloración (R5) (Fig. 13A).

Lo anterior indica, tal como se observa en las figuras 8 y 10 de peso seco de hojas y área foliar, que la variedad de *P. coccineus* Blanco Tlaxcala, aunque alcanzó 14 días antes que *P. vulgaris* su máxima producción de hojas (42-56 dde) su valor fue mucho menor, ya que Bayomex y Bayo Mecentral produjeron lo doble de hojas (16g)

que Blanco Tlaxcala (7.7 g) y Pinto Villa incluso triplicó este valor ya que obtuvo un peso seco de hojas de 25 g.m².

Como se mencionó antes, el máximo valor de la TAC de las variedades de *P. vulgaris* se obtuvo cerca del periodo de prefloración a formación de vainas, (42-56 dde), y como se observa en la figura 10 dichos valores corresponden a la fase intermedia de la curva de peso seco de hojas donde dicho peso seco alcanzó su máxima expresión.

Al estar estrechamente relacionada la TAC de hojas con el peso seco de las mismas y con el área foliar, esto se vió reflejado en la obtención de un mayor índice de área foliar (IAF) principalmente en Pinto Villa.

TASA ABSOLUTA DE CRECIMIENTO DE TALLOS (TACT)

En Pinto Villa y Bayomex, la Tasa Absoluta de Crecimiento de tallos fue un 50 por ciento menor que la TAC de hojas, en Bayo Mecentral un 15 por ciento menor y en Blanco Tlaxcala los valores de TAC de hojas y tallos fueron similares (Figs. 13A y 13B).

Las tres variedades de *P. vulgaris* tuvieron una TAC de tallos que aumentó desde 0.08 g.m².día⁻¹ en la etapa V3 hasta 0.734 g.m².día⁻¹, alrededor del periodo que va desde prefloración hasta formación de vainas (R5-R7). La variedad de *P. coccineus* tuvo una TAC de tallos desde 0.046 hasta 0.461 g.m².día⁻¹, la cual fue similar a la TAC de tallos de Bayo Mecentral, pero mucho menor que la de Pinto Villa (Fig 13B).

Como era de esperarse, se observó una estrecha relación entre la TAC de tallos y el peso seco de los mismos obtenido en diferentes muestreos a través del tiempo. De modo que al aumentar la TAC de tallos también había aumentado paulatinamente el peso seco de dichas estructuras. En *P. vulgaris* dicho aumento solamente se observó de los 14 hasta los 56 dde, ya que a partir de ese momento la

planta estaba por iniciar el llenado de grano (R7) (excepto Bayo Mecentral) y los tallos empezaron a perder peso seco.

Por otra parte, en Blanco Tlaxcala al aumentar la TAC de tallos también hubo un aumento del peso seco de los mismos, pero en un período de tiempo mucho más largo (14-98 dde) que en *P. vulgaris*. Esto indicó que *P. coccineus* tardó casi el doble de tiempo produciendo tallos y esto se explica porque, como ya se mencionó antes, tuvo casi el doble de nudos que *P. vulgaris*.

TASA ABSOLUTA DE CRECIMIENTO DE TODA LA PLANTA (TACTP)

La Tasa Absoluta de Crecimiento de toda la planta estuvo determinada principalmente por la TAC de hojas en las variedades de *P. vulgaris*, porque como ya se mencionó anteriormente los valores de esta tasa fueron desde un 15 hasta un 50 por ciento mayores que los de la TAC de tallos. En cambio, para la variedad de *P. coccineus* ambas TAC (hojas y tallos) tuvieron valores similares, por lo cual se puede decir que la TAC de toda la planta de esta variedad fue el resultado de las dos tasas en igual proporción.

Los valores de la TAC de toda la planta para *P. vulgaris* oscilaron desde 0.238 g.m⁻².día⁻¹ de los 14 a 21 dde (V3-V4), hasta los 2.135 g.m⁻².día⁻¹ cuando las plantas se encontraban alrededor del período de prefloración a formación de vainas (R5-R7). Mientras que para *P. coccineus* la TAC de toda la planta tuvo valores de 0.119 a 0.813 g.m⁻².día⁻¹ de los 28 a los 42 dde durante el período de formación de la tercera hoja trifoliolada a floración (V4-R6) (Fig. 13C).

Se encontró que la TAC de toda la planta coincidió con el comportamiento del peso seco de toda la planta a través del tiempo, tanto para *P. vulgaris* como para *P. coccineus*.

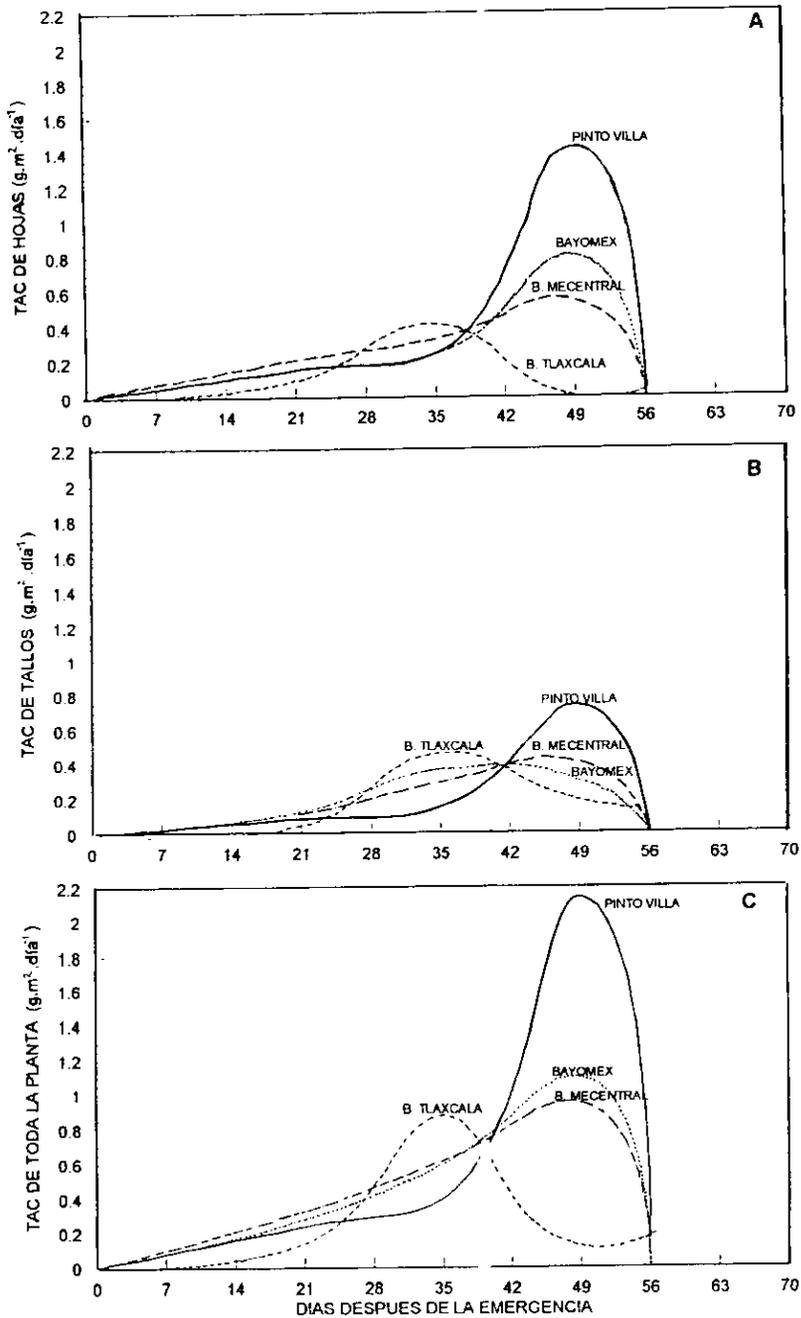


Fig. 13 Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC) de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.

TASA DE ASIMILACIÓN NETA (TAN)

La Tasa de Asimilación Neta midió la eficiencia del área foliar en la producción de biomasa, por lo que se consideró como un índice para medir la eficiencia fotosintética de la planta.

La variedad que presentó una mayor TAN en los tres períodos estudiados fue Blanco Tlaxcala, ya que desde el inicio (14-28 dde) tuvo un valor casi el doble que las tres variedades de *P. vulgaris*. Además, este material alcanzó su máxima TAN ($1.098 \text{ g.m}^{-2}.\text{día}^{-1}$) en el periodo que va desde V4 hasta prefloración (R5) (28-42 dde), en tanto que las tres variedades de *P. vulgaris* tuvieron su mayor TAN mucho después, desde prefloración hasta formación de vainas (R5-R7) y dicho valor fue cuatro veces menor que el de *P. coccineus* variedad Blanco Tlaxcala (Fig. 14 A).

La TAN tuvo una estrecha relación con el área foliar y el peso seco de toda la planta debido a que este índice se determinó desde los 14 dde hasta los 56 dde, cuando las plantas no habían dejado de producir hojas ni de aumentar su peso seco total.

La variedad Blanco Tlaxcala resultó ser la más eficiente en asimilar carbono en sus hojas hasta los 35 dde, independientemente de que tuvo una menor área foliar que las tres variedades de *P. vulgaris*. No obstante, como se vió en la distribución de biomasa de la planta (Fig. 12) la TAN no se vió reflejada en un mayor peso seco de frutos, porque únicamente se incrementa el material vegetal por unidad fotosintética (área foliar) durante las primeras etapas del desarrollo fenológico de la planta.

ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

El índice de área foliar indicó la cantidad de área foliar por unidad de superficie de terreno. En general, las tres variedades de *P. vulgaris* tuvieron un IAF entre 4 y 7 veces más grande que la variedad Blanco Tlaxcala y esto se debió a que como se observó en la figura 8, ésta última también tuvo un área foliar mucho menor que *P. vulgaris*.

Las variedades Blanco Tlaxcala, Bayomex y Bayo Mecentral alcanzaron sus máximos valores de IAF (835, 1552.7 y 3013 respectivamente) de los 28 a los 42 dde, cuando los dos primeros materiales se encontraban en el período de prefloración a inicio de floración (V4-R6), en tanto que Bayo Mecentral todavía estaba en el período vegetativo (V4). Por otra parte, la variedad Pinto Villa alcanzó su máximo IAF (3894.3) de los 42 a los 56 dde cuando ya se encontraba en el período de floración a formación de vainas (Fig. 14B).

DURACIÓN DEL ÁREA FOLIAR (DAF)

En cuanto a la Duración del Area Foliar (DAF) se observaron diferencias en los valores obtenidos entre *P. vulgaris* y *P. coccineus*, pero no en la edad de la planta en dde para alcanzar dichos valores. Las cuatro variedades alcanzaron sus máximos valores de DAF de los 49 a los 56 dde, cuando Pinto Villa estaba en el período de prefloración hasta formación de vainas (R5-R7); Bayomex alcanzó su máxima DAF en el período de floración a formación de vainas (R6-R7); Bayo Mecentral de la etapa vegetativa a formación de vainas (V4-R7) y Blanco Tlaxcala se encontraba en la etapa de floración (R6) (Fig. 14C).

En comparación con *P. vulgaris* la variedad de *P. coccineus* presentó los valores más bajos de la DAF durante todo el ciclo del cultivo y esto se debió a que aunque se consideró la suma del área foliar producida en un lapso de tiempo dado, ésta fue mucho menor en Blanco Tlaxcala que en las variedades de *P. vulgaris* (Figs. 12 y 14C).

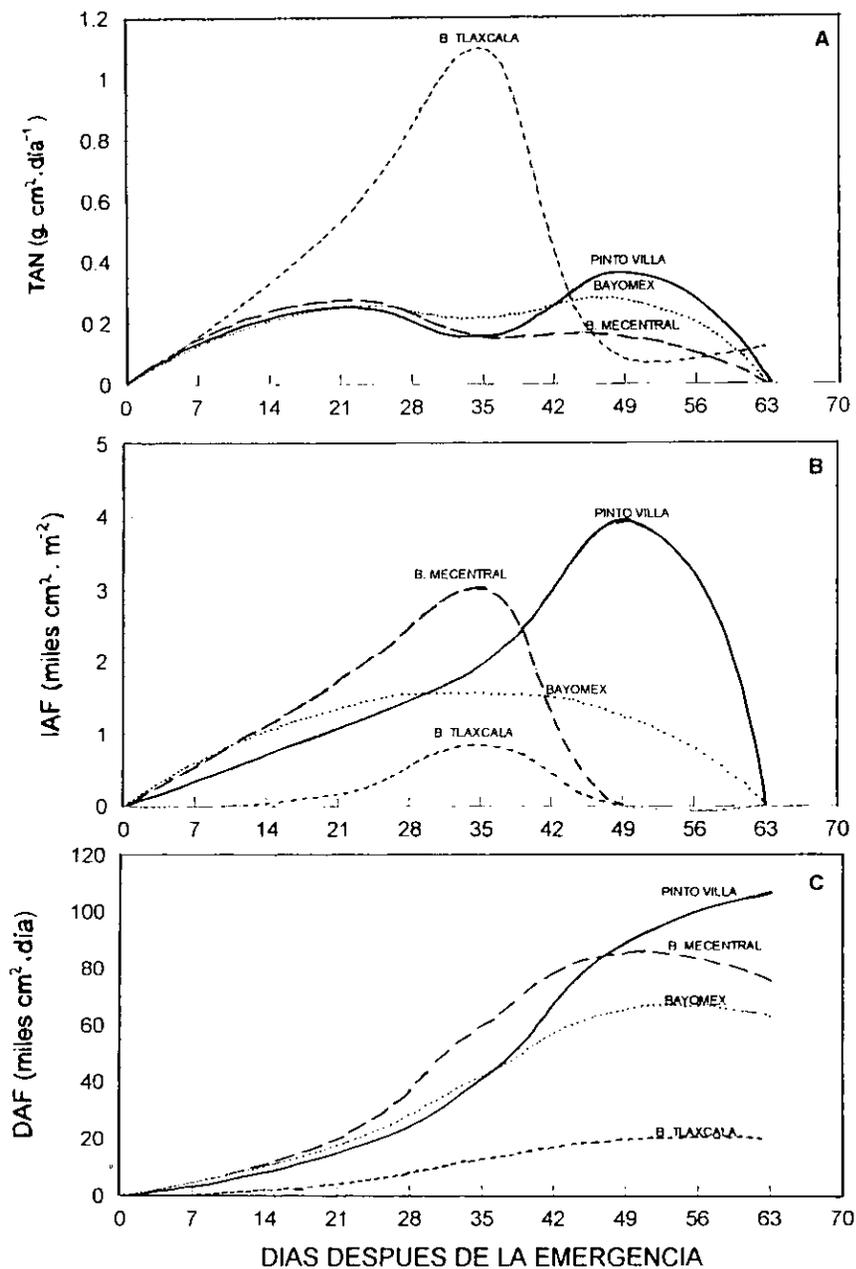


Fig. 14 (A) Tasa de Asimilación Neta (TAN), (B) Índice de Área Foliar (IAF) y (C) Duración de Área Foliar (DAF) de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997

4.5 RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

El rendimiento de grano se calculó como el peso de la materia seca acumulada en la semilla, con un 10-14 por ciento de humedad, tal como lo recomiendan autores como Escalante y Kohashi, 1993. El rendimiento biológico se consideró como la suma del peso de grano y paja de la planta, el número de vainas se indica en m², y el índice de cosecha es la relación entre el rendimiento de grano y el rendimiento biológico expresado en porcentaje.

En promedio, las tres variedades de *P. vulgaris* tuvieron un rendimiento de grano 44 por ciento mayor que la variedad de *P. coccineus* Blanco Tlaxcala, un 40 por ciento más de vainas por parcela y un índice de cosecha tres veces mayor, lo cual señala la mayor eficiencia de *P. vulgaris* en distribuir su materia seca principalmente en el grano.

No obstante, el frijol ayocote tuvo un mayor rendimiento biológico que las variedades de frijol común debido a que su rendimiento de paja fue de 3,218 k/ha, en tanto que la paja de las tres variedades de frijol común apenas pesaron entre 1,751 y 2,205 k/ha. Además, esta variedad de ayocote es de grano grande lo cual se reflejó en un mayor peso de cien semillas (Cuadro 5).

Variedad	RG (Kg/ha)	RB (Kg/ha)	IC (%)	Vainas m ²	Peso 100 sem. (g)
Pinto Villa	1516.6 A	2205.5 B	68.9 A	170.1 A	28.9 C
Bayomex	1084.9 AB	1751.6 E	62.1 A	145.2 A	34.4 B
Bayo Mecentral	1288.5 A	2027.3 E	63.9 A	145.1 A	29.3 C
Blanco Tlaxcala	715.9 B	3218.7 F	22.4 B	49.3 B	70.3 A

RG=rendimiento de grano, RB=rendimiento biológico, IC=Índice de Cosecha
 Letras diferentes en cada columna indican diferencia significativa (Tukey 0.05)

Cuadro 5. Rendimiento de Grano (RG), Rendimiento Biológico (RB) e Índice de Cosecha (IC) para tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.

Bajo las condiciones climáticas que prevalecieron durante el desarrollo de este experimento, las plantas de la variedad Pinto Villa se consideraron las más eficientes en su rendimiento de grano ya que acumularon mayor cantidad de materia seca en la semilla en relación con el total de las estructuras de la planta y además, tuvieron un mayor número de vainas por parcela.

Este material fue seleccionado y liberado como variedad en el norte del país (Durango) en donde el clima es seco, condición similar a la que se presentó durante el ciclo de cultivo 1997 en Chapingo (Figura 2), lo que permitió que esta variedad no se viera afectada en su rendimiento por la escasez de agua.

La variedad Blanco Tlaxcala, bajo condiciones de bajo temporal, como el que se presentó en el año 1997 presentó un periodo reproductivo largo con varios flujos de producción de flores, por lo que esta característica puede considerarse como adaptativa porque disminuyó la pérdida total del cultivo debido a los periodos de sequía. Sin embargo, la fase vegetativa que ocurrió después de la floración también compitió por asimilados con los frutos en desarrollo.

De lo anterior se deduce que el frijol ayocote, Blanco Tlaxcala, al cultivarse sin escasez de agua mostrará un mayor potencial de rendimiento que el que mostró este año extremadamente seco (311.19 mm durante el ciclo de cultivo).

5. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

Se comprobó que existen diferencias en el desarrollo y rendimiento de las tres variedades de frijol común (Pinto Villa, Bayomex y Bayo Mecentral) y la variedad de frijol ayocote (Blanco Tlaxcala).

La variedad de *Phaseolus coccineus* Blanco Tlaxcala, tardó menos días en florecer que las variedades Pinto Villa, Bayomex y Bayo Mecentral de *P. vulgaris*. No obstante, esta variedad de frijol ayocote presentó un ciclo de cultivo más largo que las tres variedades del frijol común.

Las variedades de *P. vulgaris* distribuyeron una mayor proporción de su biomasa total a la semilla por lo que tuvieron un mayor rendimiento de grano que la variedad de *P. coccineus*.

Las variedades de *P. vulgaris* presentaron valores mayores en su Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), Índice de Área Foliar (IAF) y Duración de Área Foliar (DAF) en comparación con la variedad de *P. coccineus*. Sin embargo, el *P. coccineus* tuvo la mayor Tasa de Asimilación Neta (TAN).

El menor rendimiento de Blanco Tlaxcala se debió a que la mayor parte de su biomasa total la distribuyó en los tallos, ya que las plantas de esta variedad duplicaron su número de nudos después de floración y hasta madurez. Esto tal vez originó competencia por fotosíntatos entre la formación de los entrenudos y la semilla en desarrollo.

Además, las condiciones ambientales que prevalecieron durante el ciclo del cultivo no favorecieron el desarrollo potencial del ayocote: 1) esta planta se cultivó en un año seco, 2) la densidad de población fue alta similar a la utilizada por los campesinos de la zona, y 3) la polinización se realizó solamente con la presencia natural de abejorros, sin la introducción de abejas domesticadas.

PROPUESTAS

Se sugiere corroborar los resultados de este trabajo con estudios posteriores que permitan detallar con mayor precisión el comportamiento del Blanco Tlaxcala como planta cultivada.

Con la finalidad de señalar si efectivamente el Blanco Tlaxcala puede competir con las variedades actuales de *P. vulgaris*, se propone lo siguiente:

1. Sembrar el frijol ayocote Blanco Tlaxcala con riego de auxilio al momento de la siembra así como antes y después de la floración.
2. Realizar estudios de productividad de esta variedad utilizando diferentes densidades de población y niveles de fertilización.
3. Emplear abejas domesticadas como polinizadores, además de los abejorros de incidencia natural, para incrementar el número de flores fertilizadas por planta.
4. Si el número de nudos por planta no se modifica en forma significativa con diferentes densidades de población se sugiere hacer selecciones individuales de plantas que formen menos nudos de floración a cosecha y que por lo tanto distribuyan en mayor proporción sus fotosintatos a las semillas.

6. BIBLIOGRAFIA CITADA

- Acosta, G. J. A., Sánchez, V. I., Ochoa, M. R., Pajarito, R. A. e Ibarra, P. F. 1994. Pinto Villa, nueva variedad de frijol de temporal para el estado de Durango. SARH. Folleto Técnico Núm. 3.
- Arriaga, Martínez, V. 1991. Fenología de 12 especies de La Montaña de Guerrero, México: Elementos para su manejo en una comunidad campesina. Tesis UNAM, Facultad de Ciencias, México. 95 pp.
- Ballesteros, Patrón, G. A. 1982. El sombreado artificial en el frijol indeterminado arbustivo. Efectos morfológicos y fisiológicos. Tesis. M. en C. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 249 pp.
- Ballesteros, P. G. A. 1997a. Análisis del crecimiento en el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Universidad de Córdoba. Colegio de Postgraduados, México. 71 pp.
- Ballesteros, P. G. A. 1997 b. Relaciones fuente - demanda en el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Universidad de Córdoba. Colegio de Postgraduados, México. 71 pp.
- Bidwell, R. G. S. 1993. Fisiología Vegetal. AGT editor. México. 784 pp.
- Burkart, A. 1945. Las leguminosas argentinas silvestres y cultivadas. ACME Agency. Buenos Aires, Argentina. 589 pp.
- Búrquez, M, J. A. 1979. Biología floral de la poblaciones silvestres y cultivadas de *Phaseolus coccineus* L. Tesis. UNAM, Facultad de Ciencias, México. 102 pp.
- Campion, B. 1995. "Venere" and "Alarico", New Scarlet Runner Bean (*Phaseolus coccineus* L.) Cultivars with Determinate Growth Habit. HortScience 30 (7): 1483-1484.

- Campos, E. A. y Garza, G. R. 1990. Guía para cultivar frijol de temporal en el Estado de México. SARH. INIFAP, México. 19 pp.
- CIAT. 1980. Diversidad genética de las especies cultivadas del género *Phaseolus*. Guía de Estudio. Cali, Colombia. 52 pp.
- CIAT. 1984. Morfología de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Guía de Estudio. Cali, Colombia. 49 pp.
- Debouck, D. G. 1992. Frijoles (*Phaseolus* spp.). In: Hernández, B. J. E. y León, J. (Eds.). FAO. 1992. Cultivos Marginados: Otra perspectiva de 1942. Roma. pp 45-60.
- Delgado, S. A. 1985. Systematics of the genus *Phaseolus* (Leguminosae) in North and Central America. Ph. D. dissertation. University of Texas. Austin, Texas, USA. 363 pp.
- Delgado, S. A. 1988. Variation, taxonomy, domestication, and germoplasm potentialities in *Phaseolus coccineus*. En: Gepts, P. (ed.) Genetics Resources of *Phaseolus Beans*. 1988. Kluwer Academic Publishers. Pp. 441-463.
- Engleman, M. E. 1979. Anatomía y Morfología. In: Engleman, M. E. (Ed.). 1979. Contribuciones al conocimiento del frijol (*Phaseolus*) en México. Colegio de Postgraduados, México. pp 23-57.
- Escalante, E, J. A. y Kohashi, S, J. 1993. El Rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados, México. pp. 8-50.
- Esquivel, Esquivel, G. 1995. Fenología, crecimiento y rendimiento de dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas en seis fechas de siembra. Tesis. UACH, México. 60 pp.

- Fanjul, Peña, L. 1978. Análisis del crecimiento de una variedad de *Phaseolus vulgaris* L. de hábito de crecimiento indeterminado y ensayo para estudio de las relaciones entre la fuente y la demanda de fotosíntatos. Tesis. Chapingo, México. 139 pp.
- Heywood, V. 1985. Las plantas con flores. Reverté. España. 332 pp.
- Hunt, R. 1978. Plant Growth Analysis. Edwar Arnold. Great Britain. 68 pp.
- Jurado, Ortiz, R. de J. 1995. Crecimiento, rendimiento y sus componentes del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en función del nitrógeno. Tesis M. en C. Colegio de Postgraduados, México. 151 pp.
- Kaplan, L. y Kaplan, L. N. 1988. La domesticación de *Phaseolus*: una cosecha complementaria en la prehistoria. In: Coloquio V. Gordon Childe. Estudios sobre las revoluciones neolítica y urbana (Ed.). UNAM, México. pp 147-166.
- Kohashi, S. J. 1979. Fisiología. In: Engleman, M. E. (Ed.). 1979. Contribuciones al conocimiento del frijol (*Phaseolus*) en México. Colegio de Postgraduados, México. pp 39-58.
- Martínez, Arévalo, J. V. 1995. Fitogeografía de los taxones silvestres de *Phaseolus* en México y Guatemala. Tesis. M. en C. Colegio de Postgraduados, México. 226 pp.
- Martínez, A. J. V. y Muruaga, M. J. S. 1992. Potencial agronómico de las especies silvestres del género *Phaseolus* en mesoamérica. In: I Simposium Internacional sobre Etnobotánica en Mesoamérica. Serie: Memorias. Publicación Núm. 1. UACH, México. pp 149-153.
- Miranda, C. S. 1979. Evolución de *Phaseolus vulgaris* y *P. coccineus*. In: Engleman, M. E. (Ed.). 1979. Contribuciones al conocimiento del frijol (*Phaseolus*) en México. Colegio de Postgraduados, México. pp 83-99.

- Muruaga, M. J. S. , Cárdenas, R. F. , Acosta, G. J. A. 1992. Hibridación Natural y Métodos de Polinización Manual en *Phaseolus coccineus* L. In: Memoria XXXVII Reunión Anual PCCMCA. Nicaragua. pp. 307-311.
- Muruaga, M. J. S. 1996. Descripción del frijol Ayocote "Blanco Tlaxcala". INIFAP Produce, Fundación Produce Tlaxcala A. C. SAGAR, México. (Triptico).
- Palomo, G. A. y Godoy, A. S. 1996. Análisis del crecimiento de una nueva variedad de algodón "Laguna 89" y el cultivar "Deltapine 80". Agric, Técn. Méx. 22 (2): 145-156.
- Rebolledo, R. H. H. 1991. SAS en microcomputadora. Análisis de experimentos con fines de optimización de insumos agrícolas. UACH, México. 92 pp.
- Rodríguez, Zavaleta, C. 1986. Fotosíntesis, transpiración, eficiencia en el uso de agua, análisis de crecimiento de cuatro cultivares de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Tesis. D. Colegio de Postgraduados, México. 334 pp.
- Rubio, Granados, E. 1995. Calibración y ajuste de un modelo para simular rendimientos en el cultivo de frijol. Tesis. M. en C. Colegio de Postgraduados, México. pp. 66-86.
- Solórzano, V. E. 1994. El cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Apuntes para el curso de leguminosas de grano. UACH (edit). México. 498 pp.
- Torres de la Noval, W. 1984. Análisis del crecimiento de las plantas. INCA, Cuba. 38 pp.
- Vargas, Vázquez, M. L. P. 1994. El rendimiento y estado hídrico de la soya (*Glycine máx* L. Merr.) en función del déficit hídrico durante la etapa reproductiva. Tesis. M. en C. Colegio de Postgraduados, México. 139 pp.

ANEXO

FECHA	DDE	FECHA	DDE	FECHA	DDE	FECHA	DDE
19 JUNIO	0	1 AGOSTO	43	13	86	26	129
20	1	2	44	14	87	27	130
21	2	3	45	15	88	28	131
22	3	4	46	16	89	29	132
23	4	5	47	17	90	30	133
24	5	6	48	18	91	31	134
25	6	7	49	19	92		
26	7	8	50	20	93		
27	8	9	51	21	94		
28	9	10	52	22	95		
29	10	11	53	23	96		
30	11	12	54	24	97		
1 JULIO	12	13	55	25	98		
2	13	14	56	26	99		
3	14	15	57	27	100		
4	15	16	58	28	101		
5	16	17	59	29	102		
6	17	18	60	30	103		
7	18	19	61	1 OCTUBRE	104		
8	19	20	62	2	105		
9	20	21	63	3	106		
10	21	22	64	4	107		
11	22	23	65	5	108		
12	23	24	66	6	109		
13	24	25	67	7	110		
14	25	26	68	8	111		
15	26	27	69	9	112		
16	27	28	70	10	113		
17	28	29	71	11	114		
18	29	30	72	12	115		
19	30	31	73	13	116		
20	31	1 SEPT.	74	14	117		
21	32	2	75	15	118		
22	33	3	76	16	119		
23	34	4	77	17	120		
24	35	5	78	18	121		
25	36	6	79	19	122		
26	37	7	80	20	123		
27	38	8	81	21	124		
28	39	9	82	22	125		
29	40	10	83	23	126		
30	41	11	84	24	127		
31	42	12	85	25	128		

dde= días después de la emergencia

Cuadro 1. Edad en días después de la emergencia (dde) para tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.

VARIEDAD	VARIABLE	14-28 dde	28-42 dde	42-56 dde	56-70 dde	70-84 dde	84-98 dde	98-112 dde
PINTO VILLA	TACH	0.152	0.243	1.420	-1.210	-0.554		
	TACT	0.085	0.160	0.735	-0.125	-0.446		
	TACTT	0.238	0.303	2.135	0.180	-1.324		
	TAN	0.254	0.155	0.363	0.012	-0.571		
	IAF	1103.69	1950.03	3894.3	-1818.4	-5177.7		
	DAF	15073.1	40724.3	89817.0	107255	48486.6		
BAYOMEX	TACH	0.154	0.239	0.796	-0.887	-0.303		
	TACT	0.129	0.364	0.300	-0.205	0.060		
	TACTT	0.284	0.603	1.097	0.284	0.303		
	TAN	0.252	0.215	0.274	-0.017	0.240		
	IAF	1345.4	1553.8	1246.7	-1522.6	-2714.8		
	DAF	17787.9	42132.0	65647	63329.4	27735.4		
BAYO MECENTRAL	TACH	0.209	0.325	0.542	-0.576	-0.310		
	TACT	0.119	0.295	0.406	-0.027	-0.253		
	TACTT	0.328	0.620	0.948	0.054	-0.363		
	TAN	0.276	0.157	-0.156	-0.000006	-0.091		
	IAF	1722.19	3012.97	709.56	-1153.7	-2425.6		
	DAF	20315.6	60091	85493.3	75895.6	45829.9		
BLANCO TLAXCALA	TACH	0.096	0.412	-0.054	0.030	0.044	0.035	-0.239
	TACT	0.046	0.461	0.193	0.133	0.390	0.252	-0.118
	TACTT	0.141	0.873	0.119	0.172	0.630	0.285	-0.376
	TAN	0.528	1.098	0.079	0.124	0.073	0.205	-0.323
	IAF	173.8	834.96	16.208	16.200	-62.27	22.92	-672.27
	DAF	3933.65	12407.6	19557.4	19829.6	19442.6	20792.1	17021.8

TACH= Tasa Absoluta de Crecimiento de Hojas; TACT= Tasa Absoluta de Crecimiento de tallos; TACTT= Tasa Absoluta de Crecimiento de toda la planta; TAN= Tasa de Asimilación Neta; IAF= Índice de Área Foliar; DAF= Duración de Área Foliar; dde= días después de la emergencia
Las Tasas Absolutas de Crecimiento están en $g \cdot m^{-2} \cdot día^{-1}$ y la Tasa de Asimilación Neta está en $g \cdot cm^{-2} \cdot día^{-1}$

Cuadro III. Variables del análisis de crecimiento observadas a través del tiempo, de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx.

VARIEDAD	VARIABLE	14 dde	28 dde	42 dde	56 dde	70 dde	84 dde	98 dde	112 dde
PINO VILLA	PI	0.461	2.597	5.996	25.872	8.929	1.168		
	PT	0.411	1.606	3.851	13.871	12.122	5.885		
	PS	0	0	0	0	21.108	16.674		
	PTT	0.870	4.203	9.847	39.743	42.259	23.727		
	AF	414.4	1738.8	4078.9	8752.1	6570.0	356.6		
BAYOMEX	PI	0.554	2.714	6.063	17.213	4.787	0.546		
	PT	0.422	2.310	7.321	11.530	8.660	9.497		
	PS	0	0	0	0	11.329	18.976		
	PTT	0.976	4.945	13.382	28.743	24.773	29.019		
	AF	463.33	2077.0	3941.1	5437.1	3609.97	352.23		
BAYO MECENTRAL	PI	0.520	3.448	7.997	15.590	7.520	3.189		
	PT	0.442	2.107	6.236	11.919	11.535	7.990		
	PS	0	0	0	0	9.213	12.004		
	PTT	0.962	5.555	14.233	27.509	28.268	23.183		
	AF	417.80	2484.43	6100.0	6113.33	4728.9	1818.23		
BLANCO FLAXCALA	PI	0.629	1.969	7.738	6.977	7.390	8.001	8.485	4.863
	PT	0.646	1.285	7.471	10.168	12.036	12.855	16.612	14.969
	PS	0	0	0	0	0.720	0.987	4.245	25.098
	PTT	1.275	3.254	15.475	17.011	19.426	20.858	25.098	19.822
	AF	176.67	385.28	1387.23	1406.68	1426.12	1351.40	1618.90	812.78

PII= peso seco de hojas; PI= peso seco de tallos; PS= peso seco de semillas; PTT= peso seco de toda la planta, AF= área foliar, dde= días después de la emergencia. todos los pesos secos están en g m² y el área foliar en cm² m²

Cuadro II. Variables del peso seco de las estructuras de las plantas observadas a través del tiempo, de tres variedades de frijol común y una variedad de frijol ayocote. Chapingo, Méx. 1997.