



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN BOTÁNICA

**CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE HABA (*Vicia faba* L.) EN
AMBIENTES CONTRASTANTES**

JUAN CARLOS PICHARDO RIEGO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2010

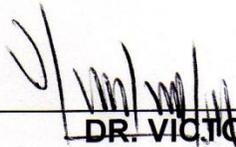
La presente tesis, titulada **Crecimiento y rendimiento de haba (*Vicia faba* L.) en ambientes contrastantes**, realizada por el alumno **Juan Carlos Pichardo Riego**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
BOTANICA
CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO: 

DR. JOSÉ ALBERTO SALVADOR ESCALANTE ESTRADA

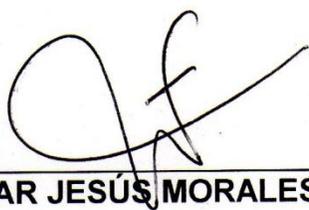
ASESOR: _____
DR. RAMÓN DÍAZ RUIZ

ASESOR: 

DR. VÍCTOR VOLKE HALLER

ASESOR: 

DR. ABEL QUEVEDO NOLASCO

ASESOR: 

DR. EDGAR JESÚS MORALES ROSALES

Montecillo, Texcoco, México, 29 de julio de 2010.

CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE HABA (*Vicia faba* L.) EN AMBIENTES
CONTRASTANTES

Juan Carlos Pichardo Riego, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2010

En México el cultivo de haba es de gran importancia social y económica principalmente en la región de los “Valles altos”, que aportan cerca del 98% a la producción nacional. Sin embargo debido a los bajos rendimientos de esta leguminosa se requiere un manejo del cultivo más apropiado en función de la diversidad de ambientes en que se desarrolla, incluyendo la búsqueda de cultivares de máximo rendimiento de grano seco para cada localidad. El objetivo del estudio fue determinar el comportamiento de distintos cultivares de haba en diferentes ambientes e identificar el más productivo de acuerdo a la región de estudio y a éste, aplicarle la mejor combinación de fertilización nitrogenada, fosfatada y densidad de población (DP). El estudio se realizó bajo condiciones de temporal durante el 2006 y 2007 en Montecillo, Texcoco, México (19° 29' N y 98° 53' O y 2250 msnm), San Pablo Ixayoc, Texcoco, México (19° 33' N, 98° 47' O y 2800 msnm) y en Ciudad Serdán, Puebla (18° 59' N y 97° 26' O, 2278 m).

En el 2006 bajo un diseño completamente al azar se evaluó el crecimiento, rendimiento de vaina verde (RVV) y componentes, rendimiento en grano seco (RGS) y componentes, eficiencia en el uso del agua o de la precipitación y eficiencia el uso de la radiación de 14 cultivares de haba (incluyendo el local para cada ambiente). Así mismo, se determinó los índices ambientales que se relacionaron con el rendimiento. Mediante el modelo interacción multiplicativa y efectos principales (AMMI) se determinó la interacción genotipo–ambiente (IGA). Para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán el mayor RVV correspondió a los cultivares no locales Blanca, Monarca y Cochinera Morada con 5.0, 9.4 y 10.3 ton ha⁻¹. La mayor producción de biomasa (materia seca) total en Montecillo y Cd. Serdán se registró en los cultivares locales Cochinera Montecillo y Pico de Orizaba, respectivamente. En San Pablo correspondió al cultivar introducido Juchitepec. El RGS más alto y asociado al uso más eficiente de los recursos (agua y radiación) fue con Cochinera Montecillo (cultivar local), Cochinera

Morada (cultivar introducido) y Blanca (cultivar introducido) en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. El análisis de estabilidad mostró la menor IGA en el cultivar Blanca.

En el 2007 se estudió en el cultivar de mayor rendimiento de grano en 2006 la fertilización nitrogenada (entre 0 y 200 kg ha⁻¹), fosfatada (entre 0 y 100 kg ha⁻¹) y densidad de población (entre 31,000 y 125,000 plantas ha⁻¹). Los tratamientos se definieron a partir de la Matriz Experimental Plan Puebla I. Se determinó el crecimiento del cultivo, RVV, RGS, componentes de rendimiento e índices de translocación. Además, para nitrógeno (N) y fósforo (P) se estimó la máxima eficiencia biológica (MEB) y económica (MEE) y para la densidad de población (DP) la densidad óptima (DO) y densidad óptima económica (DOE). El crecimiento, rendimiento (vaina verde y grano seco) y sus componentes e índices de translocación se afectaron por el suministro de N y P y por variaciones en la DP. En Montecillo la MEB y MEE para N fue de 120 y 94 kg ha⁻¹. En San Pablo ambas fueron con 200 kg ha⁻¹. Cd. Serdán mostró la más baja MEB y MEE con 79 y 55 kg ha⁻¹, respectivamente. Para P la MEB y MEE en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán fue de 60 y 48 kg ha⁻¹; 100 y 100 kg ha⁻¹; y 32 y 21 kg ha⁻¹, respectivamente. La DO y DOE en las localidades estudiadas fue de 125,000 plantas ha⁻¹. El tratamiento óptimo económico para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán se encontró con 132–66–125 N–P–DP, 66–66–125 N–P–DP y 66-66-125 N–P–DP, respectivamente.

Palabras clave: cultivar, nitrógeno, fósforo, densidad de población, rendimiento, estabilidad de rendimiento, máxima eficiencia biológica, máxima eficiencia económica, tratamiento óptimo económico.

GROWTH AND YIELD OF FABA BEAN (*Vicia Faba* L.) IN CONTRASTING ENVIRONMENTS

Juan Carlos Pichardo Riego, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2010

In Mexico, the bean crop is of great social and economic importance mainly in the upland regions; their contribution is 98% to national production. However, its low yield requires a more appropriate crop management based on the diversity of environments in which it develops, including the search of higher yield cultivars for each location. The objective of this work was to determine the growth of different faba bean cultivars in different environments and identify the most productive according to the study region and in this study the nitrogen fertilization, phosphorus fertilization and population density. The study was conducted under rainfed conditions during 2006 and 2007 in Montecillo, Texcoco, México (19° 29' N and 98° 53' W and 2250 masl), San Pablo Ixayoc, Texcoco, México (19° 33' N, 98° 47' W and 2800 masl) and Ciudad Serdán, Puebla (18° 59' N and 97° 26' W, 2278 masl).

During 2006, fourteen faba bean cultivars (including the local cultivar for each environment) were grown in a randomized complete-block design with four replications. The variables evaluated in all environments were: green pod yield (GPY) and components, dry grain yield (DGY) and components, water use efficiency or precipitation use efficiency and radiation use efficiency. Genotype-environment (GEI) was determined using the additive main effects and multiplicative interaction model (AMMI). In Montecillo, San Pablo and Cd. Serdán green pod yield was highest in Blanca (5.0 ton ha⁻¹), Monarca (9.4 ton ha⁻¹) y Cochinera Morada (10.3 ton ha⁻¹) non-local cultivars. The highest biomass (dry matter) production in Montecillo and Cd. Serdán was observed in local cultivars Cochinera Montecillo y Pico de Orizaba, respectively. In San Pablo was observed in non-local cultivar Juchitepec. The highest dry grain yield associated with more efficient use of resources (water and radiation) was with Cochinera Montecillo (local cultivar), Cochinera Morada (non-local cultivar) and Blanca

(non-local cultivar) in Montecillo, San Pablo and Cd Serdán, respectively. Based on the stability analysis, cultivar Blanca was found to be stable for grain yield.

In 2007 was studied the nitrogen fertilization (0–200 kg ha⁻¹), phosphorus fertilization (0–100 kg ha⁻¹) and population density (31 000 – 125 000 plants ha⁻¹) in the highest yield cultivar (experiment 2006) for each environment. Treatments were determined using Plan Puebla I experimental matrix. The variables studied were: crop growth, green pod yield, dry grain yield, yield components and translocation indices. Furthermore, for nitrogen (N) and phosphorus (P) was estimated maximum biological efficiency (MBE) and maximum economical efficiency (MEE). For the population plant density (PD) was estimated optimum plant density (OD) and economic optimum density (EOD). The growth, yield (green pod and dry grain), yield components and translocation indices were affected by the supply of N and P and density differences. In Montecillo MBE and MEE for N was 120 and 94 kg ha⁻¹. In San Pablo both were with 200 kg ha⁻¹. Cd. Serdán showed the lower MBE and MEE with 79 and 55 kg N ha⁻¹. For phosphorus biological efficiency and economic efficiency in Montecillo, San Pablo and Cd Serdán was 60 and 48 kg ha⁻¹, 100 and 100 kg ha⁻¹, and 32 and 21 kg ha⁻¹, respectively. OD and EOD in the environments studied was 125 000 plants ha⁻¹. Optimum economic treatment in Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán was with 132–66–125 N–P–PD, 66–66–125 N–P–PD y 66-66-125 N–P–PD, respectively.

Keywords: *cultivar, nitrogen, phosphorus, population density, yield, yield stability, maximum biological efficiency, maximum economical efficiency, optimum economic treatment.*

AGRADECIMIENTOS

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la ayuda económica que recibí para la realización de mis estudios.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por la ayuda económica para la culminación de la presente tesis.

Al Colegio de Postgraduados por su apoyo en mi formación académica.

A los Doctores integrantes de mi consejo particular: Dr. Ramón Díaz Ruiz, Dr. Victor Volke Haller, Dr. Abel Quevedo Nolasco y Dr. Edgar J. Morales Rosales por su asesoría y sugerencias que permitieron mejorar el contenido de esta tesis.

Al Dr. José Alberto S. Escalante Estrada por su tiempo y la revisión de esta tesis, sobre todo por su confianza para continuar mis estudios de doctorado bajo su valiosa dirección, por su amistad y calidad humana.

A la M. C. María Teresa Rodríguez por sus consejos, amistad y apoyo en todo momento.

A mis compañero y amigos Ernesto, Alejandro, Nicolas, Patricio y Rafael.

A Manuel y Don Fide por su valiosa ayuda en el trabajo de campo.

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, por estos años vividos por la experiencia adquirida, la sabiduría, entusiasmo y fuerza que nunca decayeron en mi persona. Por muchas horas de tranquilidad en momentos difíciles.

A mis padres, porque gracias a su apoyo y consejos he llegado a realizar la más grande de mis metas. Es sin duda para mí la mejor de las herencias. Sabiendo que no existirá una forma de agradecer una vida de sacrificio y esfuerzo, quiero que sientan que el objetivo logrado también es de ustedes. Con cariño y admiración.

A mis hermanos por todo lo que he aprendido de ellos. A mis cuñados por los momentos que disfrutamos. A mis sobrinos por su energía que siempre muestran y me la transmiten. Sobre todo para Carlos Alberto y José Carlos para que sigan adelante y nunca piensen que están solos todos los queremos y sabemos que con su dedicación saldrán adelante. A mi ahijado por su luz y alegría que siempre me contagio.

A Maribel mi novia que solo ha sabido darme lo mejor de sí, con alegría, compañerismo, dulzura y sobre todo por todo este tiempo que ha estado a mi lado. Con amor, te quiero.

A mi amigo Egdar Jesús por todo lo que me ha enseñado una parte de este logro te lo debo a ti. Gracias.

CONTENIDO

	Página
RESUMEN GENERAL.....	i
ABSTRACT.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vi
CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE.....	xxviii
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1. Las leguminosas.....	1
1.2. Las leguminosas de grano.....	3
1.3. Importancia del haba.....	4
1.4. Limitaciones en el cultivo de haba.....	6
CAPÍTULO I. CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE HABA (<i>Vicia faba</i> L.) EN FUNCIÓN DEL CULTIVAR Y AMBIENTE.....	8
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	10
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. La interacción genotipo x ambiente.....	12
1.2. Importancia de la interacción genotipo x ambiente.....	14
1.3. Tipos de interacción genotipo x ambiente.....	15
1.4. Estabilidad y adaptabilidad.....	16
1.5. Métodos para estimar la estabilidad.....	18
1.6. Influencia del genotipo y del ambiente sobre el desarrollo vegetativo y reproductivo del haba.....	21
1.6.1. Efecto de la temperatura: Temperatura base y temperatura óptima.....	21
1.6.2. Efecto de la longitud del día.....	24
1.6.3. Efecto del régimen hídrico.....	25
1.6.4. Efecto sobre el rendimiento y distribución entre sus componentes.....	26
II. MATERIALES Y MÉTODO.....	31
2.1. Localización del área de estudio.....	31
2.2. Material vegetal.....	32
2.3. Dimensiones del experimento.....	33
2.4. Manejo del cultivo.....	33
2.5. Elementos del clima.....	34
2.6. Estados de desarrollo (fenología).....	34

	Página
2.7. Grados días desarrollo (GDD).....	36
2.8. Evapotranspiración real.....	36
2.9. Variables morfológicas.....	37
2.10. Eficiencia agronómica en el uso del agua y de la precipitación....	38
2.11. Eficiencia en el uso de la radiación.....	38
2.12. Variables estudiadas en experimentos individuales.....	39
2.12.1. Rendimiento de vaina verde o legumbre.....	39
2.12.2. Materia seca total y su distribución en los diferentes órganos de la planta.....	39
2.12.3. Índice de cosecha, rendimiento de semilla y sus componentes.....	39
2.13. Variables para la interacción genotipo x ambiente.....	40
2.14. Análisis estadísticos.....	41
2.14.1. Análisis de varianza por localidad.....	41
2.14.2. Análisis de varianza combinado.....	41
2.14.3. Análisis de estabilidad por el método AMMI.....	42
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
3.1. Elementos del clima.....	44
3.2. Estados de desarrollo (fenología).....	45
3.3. Grados días desarrollo (GDD).....	50
3.4. Evapotranspiración real.....	54
3.5. Variables morfológicas.....	56
3.5.1. Altura de planta.....	56
3.5.2. Número de nudos.....	57
3.5.3. Número de foliolulos.....	59
3.5.4. Área foliar.....	64
3.5.5. Número de racimos florales.....	65
3.6. Eficiencia agronómica en el uso del agua y de la precipitación....	66
3.7. Eficiencia en el uso de la radiación.....	70
3.8. Variables en experimentos individuales.....	70
3.8.1. Rendimiento en vaina verde o legumbre.....	70
3.8.1.1. Montecillo.....	70
3.8.1.2. San Pablo.....	71
3.8.1.3. Cd. Serdán.....	72
3.9. Acumulación de materia seca total y su distribución en los diferentes órganos de la planta.....	76
3.9.1. Montecillo.....	76
3.9.2. San Pablo.....	78
3.9.3. Cd. Serdán.....	80
3.10. Índice de cosecha, rendimiento de grano seco y sus componentes.....	81
3.10.1. Montecillo.....	81
3.10.2. San Pablo.....	82
3.10.3. Cd. Serdán.....	84
3.11. Interacción genotipo (cultivar) x ambiente.....	86

	Página
3.11.1. Análisis de varianza combinado.....	86
3.11.1.1. Efecto de ambientes.....	87
3.11.1.2. Efecto de cultivares.....	88
3.12. Estabilidad de rendimiento de semilla por el modelo AMMI.....	89
IV. DISCUSIÓN GENERAL.....	96
V. CONCLUSIONES.....	99
VI. LITERATURA CITADA.....	101
VII. ÁPENDICE.....	112
CAPÍTULO II. EFECTO DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN EN HABA (<i>Vicia faba</i> L.).....	118
RESUMEN.....	118
ABSTRACT.....	120
I. INTRODUCCIÓN.....	122
1.1. Nutrición mineral.....	123
1.2. Exigencias nutrimentales.....	125
1.3. Efecto del nitrógeno, fósforo y densidad de población en haba.....	126
1.3.1. El nitrógeno (N).....	126
1.3.2. Suministro de N sobre el crecimiento y desarrollo de haba.....	127
1.3.3. Suministro de N sobre el rendimiento y componentes de haba.....	130
1.3.4. El fósforo (P).....	133
1.3.5. Suministro de P sobre el crecimiento y desarrollo de haba.....	133
1.3.6. Suministro de P sobre el rendimiento y componentes de haba.....	135
1.3.7. Densidad de población.....	138
1.3.8. Efecto de la densidad de población sobre el crecimiento y desarrollo de haba.....	140
1.3.9. Efecto de la densidad de población sobre el rendimiento y componentes de haba.....	143
1.3.10. Densidad óptima económica.....	147
1.4. Interacción nitrógeno, fósforo y densidad de población.....	148
II. MATERIALES Y MÉTODO.....	151
2.1. Localización del área de estudio.....	151
2.2. Material genético.....	151
2.3. Dimensiones del experimento, tratamientos y diseño experimental.....	151
2.4. Manejo del cultivo.....	153
2.5. Variables evaluadas.....	153
2.5.1. Variables morfológicas.....	153
2.5.2. Tasa de aparición foliar, tasa de expansión foliar y filocrono... ..	153
2.5.3. Tasa relativa de senescencia foliar.....	154
2.5.4. Acumulación de materia seca total y su distribución en cada órgano.....	155
2.5.5. Rendimiento de vaina verde.....	155
2.5.6. Rendimiento de grano seco y sus componentes.....	155
2.5.7. Índices de traslocación.....	156

	Página
2.5.8. Máxima eficiencia biológica y máxima eficiencia económica...	157
2.6. Densidad óptima.....	158
2.6.1. Densidad óptima promedio (DOP) y por ambiente (DOA).....	158
2.6.2. Densidad óptima económica (DOE).....	158
2.7. Estimación de modelos de regresión.....	158
2.8. Tratamiento óptimo económico y dosis óptima económica.....	159
2.8.1. Tratamiento óptimo económico (TOE).....	159
2.8.2. Dosis óptima económica (DOE).....	159
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	163
3.1. Efecto del nitrógeno.....	163
3.1.1. Variables morfológicas.....	163
3.1.1.1. Altura de la planta (AP).....	163
3.1.1.2. Número de nudos por planta (NN).....	165
3.1.1.3. Número de tallos (NT).....	167
3.1.1.4. Tasa de aparición foliar (TAF).....	169
3.1.1.5. Filocrono.....	169
3.1.1.6. Numero de hojas (NH) y foliolulos (NF) por planta.....	171
3.1.1.7. Área foliar (AF) y tasa de expansión foliar (TEF).....	173
3.1.1.8. Tasa relativa de senescencia (TRS).....	175
3.1.1.9. Índice de área foliar (IAF).....	176
3.1.2. Duración del área foliar (DAF).....	177
3.1.3. Porcentaje de radiación interceptada (RI).....	179
3.1.4. Acumulación de materia seca.....	183
3.1.4.1. Materia seca en hoja.....	183
3.1.4.2. Materia seca en tallo.....	183
3.1.4.3. Materia seca en fruto (pericarpio + semilla).....	184
3.1.4.4. Materia seca total.....	185
3.1.5. Acumulación y distribución de materia seca en los diferentes órganos a la madurez fisiológica (MF).....	186
3.1.6. Rendimiento de vaina verde (RVV).....	187
3.1.7. Componentes de rendimiento en grano seco.....	187
3.1.7.1. Número (NV) y peso de vaina (PV).....	187
3.1.7.2. Número de semillas (NS) y tasa de crecimiento de semilla (TCS)	195
3.1.7.3. Peso de cincuenta semillas (PCS) y tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS).....	195
3.1.7.4. Número de semillas por vaina (NSV).....	196
3.1.8. Índices de translocación en grano seco.....	196
3.1.8.1. Índice reproductivo (IR), intensidad de partición (IP) e índice de cosecha (IC)	196
3.1.9. Rendimiento de grano seco (RGS).....	198
3.1.10. Máxima eficiencia biológica (MEB) y máxima eficiencia económica (MEE)	200
3.2. Efecto del fósforo.....	207
3.2.1. Variables morfológicas.....	207

	Página
3.2.1.1. Altura de la planta (AP).....	207
3.2.1.2. Número de nudos por planta (NN).....	209
3.2.1.3. Número de tallos por planta (NT).....	210
3.2.1.4. Tasa de aparición foliar (TAF).....	211
3.2.1.5. Filocrono.....	213
3.2.1.6. Numero de hojas (NH) y foliolulos (NF) por planta.....	213
3.2.1.7. Área foliar (AF) y tasa de expansión foliar (TEF).....	217
3.2.1.8. Tasa relativa de senescencia (TRS).....	218
3.2.1.9. Índice de área foliar (IAF).....	219
3.2.2. Duración del área foliar (DAF).....	220
3.2.3. Porcentaje de radiación interceptada (RI).....	221
3.2.4. Acumulación de materia seca.....	225
3.2.4.1. Materia seca en hoja.....	225
3.2.4.2. Materia seca en tallo.....	227
3.2.4.3. Materia seca en fruto (pericarpio + semilla).....	228
3.2.4.4. Materia seca total.....	229
3.2.5. Acumulación y distribución de materia seca en los diferentes órganos a la madurez fisiológica (MF).....	230
3.2.6. Rendimiento de vaina verde (RVV).....	236
3.2.7. Componentes de rendimiento en grano seco.....	236
3.2.7.1. Número (NV) y peso de vaina (PV).....	236
3.2.7.2. Número de semillas (NS) y tasa de crecimiento de semilla (TCS)	238
3.2.7.3. Peso de cincuenta semillas (PCS) y tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS).....	239
3.2.7.4. Número de semillas por vaina (NSV).....	239
3.2.8. Índices de translocación en grano seco.....	240
3.2.8.1. Índice reproductivo (IR), intensidad de partición (IP) e índice de cosecha (IC)	240
3.2.9. Rendimiento de grano seco (RGS).....	242
3.2.10. Máxima eficiencia biológica (MEB) y máxima eficiencia económica (MEE)	249
3.3. Efecto de la densidad de población.....	250
3.3.1. Variables morfológicas.....	250
3.3.1.1. Altura de la planta (AP).....	250
3.3.1.2. Número de nudos por planta y m ²	251
3.3.1.3. Número de tallos por planta y m ²	254
3.3.1.4. Tasa de aparición foliar (TAF).....	255
3.3.1.5. Filocrono.....	256
3.3.1.6. Numero de hojas (NH) y foliolulos (NF) por planta.....	258
3.3.1.7. Área foliar (AF) y tasa de expansión foliar (TEF).....	259

	Página
3.3.1.8. Tasa relativa de senescencia (TRS).....	261
3.3.1.9. Índice de área foliar (IAF).....	262
3.3.2. Duración del área foliar (DAF).....	263
3.3.3. Porcentaje de radiación interceptada (RI).....	265
3.3.4. Acumulación de materia seca.....	268
3.3.4.1. Materia seca en hoja.....	268
3.3.4.2. Materia seca en tallo.....	269
3.3.4.3. Materia seca en fruto (pericarpio + semilla).....	270
3.3.4.4. Materia seca total.....	270
3.3.5. Acumulación y distribución de materia seca en los diferentes órganos a la madurez fisiológica (MF).....	271
3.3.6. Rendimiento de vaina verde (RVV).....	272
3.3.7. Componentes de rendimiento de grano seco.....	282
3.3.7.1. Número (NV) y peso de vaina (PV).....	282
3.3.7.2. Número de semillas (NS) y tasa de crecimiento de semilla (TCS).....	284
3.3.7.3. Peso de cincuenta semillas (PCS) y tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS).....	284
3.3.7.4. Número de semillas por vaina (NSV).....	285
3.3.8. Índices de translocación en grano seco.....	286
3.3.8.1. Índice reproductivo (IR), intensidad de partición (IP) e índice de cosecha (IC).....	286
3.3.9. Rendimiento de grano seco (RGS).....	286
3.3.10. Densidad óptima (DO).....	293
3.3.10.1. Densidad óptima promedio (DOP).....	293
3.3.10.2. Densidad óptima fisiológica por ambiente (DOF).....	293
3.3.10.3. Densidad óptima económica por ambiente (DOE).....	294
3.4. Nitrógeno, fósforo y densidad de población.....	295
3.4.1. Rendimiento de vaina verde.....	295
3.4.2. Rendimiento de grano seco y componentes.....	297
3.4.3. Funciones de producción.....	298
3.4.4. Tratamiento óptimo económico.....	302
3.4.5. Dosis óptima económica.....	302
IV. DISCUSIÓN GENERAL.....	307
V. CONCLUSIONES.....	312
VI. LITERATURA CITADA.....	316
VII. ÁPENDICE.....	330

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO I

	Página
Cuadro 1. Ubicación y clima de las localidades bajo estudio.....	31
Cuadro 2. Normales climáticas de las estaciones más cercanas a las localidades de estudio.....	32
Cuadro 3. Características morfológicas de planta y semilla de los diferentes cultivares de haba evaluados.....	33
Cuadro 4. Estadios fenológicos del cultivo de haba tomadas en este estudio.....	35
Cuadro 5. Grados días desarrollo ($^{\circ}\text{Cd}$) acumulados en la etapa vegetativa en diferentes cultivares de haba, sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán Primavera 2006. Números entre paréntesis son los días después de la siembra (dds).....	51
Cuadro 6. Grados días desarrollo ($^{\circ}\text{Cd}$) acumulados en la etapa reproductiva en diferentes cultivares de haba, sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán Primavera 2006. Números entre paréntesis son los días después de la siembra (dds).....	52
Cuadro 7. Evapotranspiración real (mm) en cultivares de haba y etapas fenológicas, sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo y San Pablo. Primavera 2006.....	56
Cuadro 8. Número de foliolulos y área foliar en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo. Primavera 2006. dds: días después de la siembra.....	62
Cuadro 9. Número de foliolulos y área foliar en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en San Pablo. Primavera 2006. dds: días después de la siembra.....	63
Cuadro 10. Número de foliolulos y área foliar en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Cd. Serdán. Primavera 2006. dds: días después de la siembra.....	63
Cuadro 11. Número de racimos florales en cultivares de haba a los 89 y 132 días después de la siembra (dds) sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. Primavera 2006.....	66
Cuadro 12. Eficiencia en el uso del agua (EUA) para la producción de materia seca (g MS mm^{-1}) y rendimiento de grano seco (g G mm^{-1}) en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo y San Pablo. Primavera 2006.....	68

	Página
Cuadro 13. Eficiencia en el uso de la precipitación (EUP) para la producción de materia seca (g MS mm ⁻¹) y rendimiento de grano seco (g G mm ⁻¹) en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. Primavera 2006.....	69
Cuadro 14. Eficiencia en el uso de la radiación (EUR) para la producción de materia seca (g MS MJ ⁻¹) y rendimiento de grano seco (g G MJ ⁻¹) de cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo. Primavera 2006.....	69
Cuadro 15. Longitud de vaina (LV), anchura de vaina (AV), peso de vaina (PV) y número de vainas (NV) de cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. Primavera 2006.....	73
Cuadro 16. Rendimiento de vaina verde en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. Primavera 2006.....	74
Cuadro 17. Porcentaje de materia seca en el material vegetativo (MV) y fruto y relación peso de semilla/peso de pericarpio (PS/PP) en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. Primavera 2006.....	81
Cuadro 18. Rendimiento de grano seco y sus componentes e índice de cosecha en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo. Primavera 2006.....	83
Cuadro 19. Rendimiento de grano seco y sus componentes e índice de cosecha en cultivares de haba, sembrados bajo condiciones de temporal en San Pablo. Primavera 2006.....	84
Cuadro 20. Rendimiento de grano seco y sus componentes e índice de cosecha en cultivares de haba, sembrados bajo condiciones de temporal en Cd. Serdán. Primavera 2006.....	85
Cuadro 21. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado y su significancia estadística para el rendimiento de grano seco y sus componentes e índice de cosecha.....	87
Cuadro 22. Representación porcentual de la suma de cuadrados (SC) del rendimiento de grano seco y sus componentes e índice de cosecha, que corresponde a la SC total.....	87
Cuadro 23. Rendimiento de grano seco y sus componentes e índice de cosecha para cultivares de haba y ambientes en conjunto. Primavera 2006.....	89
Cuadro 24. Análisis de varianza según modelo AMMI para rendimiento de grano seco de cultivares de haba.....	90
Cuadro 25. Puntuaciones de los dos ejes correspondientes a los componentes principales (CP) para el rendimiento de grano seco (RGS) según cultivar y localidad.....	91

CAPÍTULO II

	Página
Cuadro 1. Tratamientos originados a partir de la Matriz Plan Puebla I para estudiar en haba.....	152
Cuadro 2. Ecuaciones que estiman el número de hojas (NH) en haba en base a los días después de la siembra (DDS) con aplicación de nitrógeno. Primavera 2007.....	172
Cuadro 3. Tasa de expansión foliar (TEF), Máxima área foliar (MAF), duración efectiva de expansión foliar (DEEF) y Tasa relativa de senescencia (TRS) en haba con aplicación de nitrógeno. Primavera 2007.....	175
Cuadro 4. Acumulación y distribución de materia seca en los diferentes órganos de la planta a la madurez fisiológica en función del nitrógeno Primavera 2007.....	193
Cuadro 5. Componentes de rendimiento e índices de translocación en haba con suministro de nitrógeno. Primavera 2007.....	201
Cuadro 6. Ecuaciones de productividad, coeficientes de determinación, máxima eficiencia biológica (MEB) y máxima eficiencia económica (MEE) en haba con suministro de nitrógeno (N). Primavera 2007.....	206
Cuadro 7. Ecuaciones que estiman el número de hojas (NH) en haba en base a los días después de la siembra (DDS) con aplicación de fósforo. Primavera 2007.....	215
Cuadro 8. Tasa de expansión foliar (TEF), Máxima área foliar (MAF), duración efectiva de expansión foliar (DEEF) y Tasa relativa de senescencia (TRS) en haba con aplicación de fósforo. Primavera 2007.....	219
Cuadro 9. Acumulación y distribución de materia seca en los diferentes órganos de la planta a la madurez fisiológica en función del fósforo. Primavera 2007.....	235
Cuadro 10. Componentes de rendimiento e índices de translocación en haba con suministro de fósforo. Primavera 2007.....	244
Cuadro 11. Ecuaciones de productividad, coeficientes de determinación, máxima eficiencia biológica (MEB) y máxima eficiencia económica (MEE) en haba con suministro de fósforo (P). Primavera 2007.....	249
Cuadro 12. Ecuaciones que estiman el número de hojas (NH) en haba en base a los días después de la siembra (DDS) en diferentes densidades de población. Primavera 2007.....	260
Cuadro 13. Tasa de expansión foliar (TEF), Máxima área foliar (MAF), duración efectiva de expansión foliar (DEEF) y Tasa relativa de senescencia (TRS) en haba con diferentes densidades de población. Primavera 2007.....	262

	Página
Cuadro 14. Acumulación y distribución de materia seca en los diferentes órganos de la planta a la madurez fisiológica con diferentes densidades de población. Primavera 2007.....	279
Cuadro 15. Componentes de rendimiento e índices de translocación en haba con diferentes densidades de población. Primavera 2007.....	288
Cuadro 16. Densidad óptima económica (DOE) y densidad óptima fisiológica (DOF) en haba. Primavera 2007.....	294
Cuadro 17. Rendimiento de vaina verde (RVV), número de vainas (NV) y peso de vaina (PV) en haba con suministro de nitrógeno (N, kg ha ⁻¹) y fósforo (P, kg ha ⁻¹) y densidades de población (DP, miles de plantas ha ⁻¹) sembrada en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. Primavera 2007.....	296
Cuadro 18. Rendimiento y algunos componentes con suministro de nitrógeno (N, kg ha ⁻¹) y fósforo (P, kg ha ⁻¹) y densidad de población (DP, miles de plantas ha ⁻¹) en haba. Montecillo. Primavera 2007.....	299
Cuadro 19. Rendimiento y algunos componentes con suministro de nitrógeno (N, kg ha ⁻¹) y fósforo (P, kg ha ⁻¹) y densidad de población (DP, miles de plantas ha ⁻¹) en haba. San Pablo. Primavera 2007.....	300
Cuadro 20. Rendimiento y algunos componentes con suministro de nitrógeno (N, kg ha ⁻¹) y fósforo (P, kg ha ⁻¹) y densidad de población (DP, miles de plantas ha ⁻¹) en haba. Cd. Serdán. Primavera 2007.....	301
Cuadro 21. Modelos de regresión para el rendimiento de grano seco de haba (RGS, kg ha ⁻¹) y sus correspondientes cuadrados medios de desviaciones de regresión (CMR) y coeficientes de determinación (R ²) obtenidos por diferentes procedimientos. Primavera, 2007.....	303
Cuadro 22. Rendimiento de grano seco (RGS), costos e ingreso neto para haba con suministro de nitrógeno (N, kg ha ⁻¹) y fósforo (P, kg ha ⁻¹) y densidades de población (DP, miles de plantas ha ⁻¹). Montecillo. Primavera. 2007.....	304
Cuadro 23. Rendimiento de grano seco (RGS), costos e ingreso neto para haba con suministro de nitrógeno (N, kg ha ⁻¹) y fósforo (P, kg ha ⁻¹) y densidades de población (DP, miles de plantas ha ⁻¹). San Pablo. Primavera. 2007.....	305
Cuadro 24. Rendimiento de grano seco (RGS), costos e ingreso neto para haba con suministro de nitrógeno (N, kg ha ⁻¹) y fósforo (P, kg ha ⁻¹) y densidades de población (DP, miles de plantas ha ⁻¹). Cd. Serdán. Primavera. 2007.....	306

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

	Página
Figura 1. Distribución de la temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de los cultivos en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2006.....	46
Figura 2. Fenología de diferentes cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2006. S: Siembra, VE: Emergencia, V5: 5 hojas compuestas, V10: 10 hojas compuestas, V20: 20 hojas compuestas, R4: Inicio de la floración, R6: Inicio de la fructificación y R11: Madurez fisiológica.....	49
Figura 3. Dinámica de la altura de la planta en diferentes cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2006. dds: días después de la siembra.....	58
Figura 4. Dinámica del número de nudos en diferentes cultivares de haba, sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2006. dds: días después de la siembra.....	61
Figura 5. Relación entre el rendimiento de vaina verde (RV) y la longitud de vaina (LV) (A), anchura de vaina (AV) (B), número de vainas (NV) (C) y peso de vaina (PV) (D) en diferentes cultivares de haba. Primavera 2006.....	75
Figura 6. Materia seca total y su distribución (%) en los diferentes órganos de la planta en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo. Primavera 2006. Valores con la misma letra sobre cada barra son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$	77
Figura 7. Materia seca total y su distribución (%) en los diferentes órganos de la planta en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en San Pablo. Primavera 2006. Valores con la misma letra sobre cada barra son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$	79
Figura 8. Materia seca total y su distribución (%) en los diferentes órganos de la planta en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Cd. Serdán. Primavera 2006. Valores con la misma letra sobre cada barra son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$	80
Figura 9. Doble representación Biplot de 13 cultivares de haba en 3 ambientes, según modelo AMMI.....	92

	Página
Figura 10. Grafica del rendimiento medio vs. Las coordenadas de cultivares y ambientes del CP1 según el modelo AMMI.....	92
Figura 11. Puntuaciones del primer y segundo eje del componente principal de 13 cultivares de haba en 3 ambientes de México (Biplot GGE-SRGE).....	95

CAPÍTULO II

	Página
Figura 1. Figura para la estimación de componentes foliares.....	154
Figura 2. Efecto del fósforo (P) y densidad de población (DP) a diferentes niveles de nitrógeno (N) (A), efecto del N y DP a diferentes niveles de P (B) y efecto del N y P a diferentes DP (C) sobre el rendimiento de grano seco (RGS) de haba en Montecillo, México.2007.....	160
Figura 3. Efecto del fósforo (P) y densidad de población (DP) a diferentes niveles de nitrógeno (N) (A), efecto del N y P a diferentes niveles de P (B) y efecto del N y P a diferentes DP (C) sobre el rendimiento de grano seco (RGS) de haba en San Pablo, México.2007.....	161
Figura 4. Efecto del fósforo (P) y densidad de población (DP) a diferentes niveles de nitrógeno (N) (A), efecto del N y P a diferentes niveles de P (B) y efecto del N y P a diferentes DP (C) sobre el rendimiento de grano seco (RGS) de haba en Cd. Serdán, Puebla. 2007.....	162
Figura 5. Dinámica de la altura de la planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	164
Figura 6. Relación entre la altura de planta (AP) con el número de nudos (NN) (A) y la longitud de entrenudo (LE) (B). Los puntos son datos hasta los 127dds. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	165
Figura 7. Dinámica del número de nudos por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	166
Figura 8. Dinámica del número de tallos por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	168

	Página
Figura 9. Dinámica del número de hojas por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	170
Figura 10. Estimación del filocrono con suministró de nitrógeno. Primavera 2007. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	171
Figura 11. Relación entre el número de hojas con el número de nudos. Los puntos son datos hasta los 127 dds. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	173
Figura 12. Relación entre índice de área foliar (IAF) a los 156 dds y la tasa relativa de senescencia (TRS) durante el periodo 127–156. Datos entre círculos rojos y azules corresponden a Montecillo y San Pablo, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	176
Figura 13. Dinámica del índice de área foliar (IAF) en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	177
Figura 14. Relación entre el máximo índice de área foliar (IAF) y el máximo número de foliolulos (A), máxima área foliar (AF) (B) y tasa de expansión foliar (TEF) (C). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	178
Figura 15. Relación entre la duración del área foliar total (DAFT) el máximo índice de área foliar (IAF) (A), máxima área foliar (AF) (B) y máximo número de foliolulos (C). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	180
Figura 16. Dinámica del porcentaje de radiación interceptada (RI) en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	181
Figura 17. Relación entre la radiación interceptada (RI) y el máximo índice de área foliar (IAF) (A), máxima área foliar (AF) (B), máximo número de foliolulos (C) y duración del área foliar total (DAFT). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	182

	Página
Figura 18. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con suministro de nitrógeno. Montecillo, Méx. Primavera, 2007. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹ . dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica.....	188
Figura 19. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con suministro de nitrógeno. San Pablo Ixayoc, Méx. Primavera, 2007. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹ . dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica.....	189
Figura 20. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con suministro de nitrógeno. Cd. Serdán, Puebla. Primavera, 2007. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹ . dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica.....	190
Figura 21. Relación entre la Materia seca hoja (MSH) hasta los 127 dds y el índice de área foliar (IAF) y el área foliar (AF). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	191
Figura 22. Relación entre la Materia seca tallo (MST) hasta los 127 dds y la altura de planta (AP) y número de tallos. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	191
Figura 23. Relación entre la Materia seca total (MST) hasta los 127 dds y la radiación interceptada (RI) y la MST y la duración del área foliar total (DAFT). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	192
Figura 24. Rendimiento de vaina verde (RVV) en haba con suministro de nitrógeno (N) sembrada en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2006.....	194
Figura 25. Relación entre: número de vainas (NV) y peso de vaina (PV) (A), peso de cincuenta semillas (PCS) y número de semillas (NS) (B), tasa de crecimiento de semilla (TCS) y NS (C) y tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS) y PCS (D). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	197
Figura 26. Rendimiento de grano seco (RGS) en haba con suministro de nitrógeno (N) sembrada en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007.....	202

	Página
Figura 27. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: índice de área foliar (IAF) máximo (A), duración del área foliar total (DAFT) (B) y radiación interceptada (RI). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	203
Figura 28. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: número de semillas (NS) (A), peso de cincuenta semillas (PCS) (B), número de semillas por vaina (NSV) (C) y materia seca total (MST) (D). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	204
Figura 29. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: tasa de crecimiento de semilla (TCS) (A), índice reproductivo (IC) (B), índice de partición (IP) (C), índice de cosecha (IC) (D) y tasa de crecimiento individual de semilla (E). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha ⁻¹	205
Figura 30. Dinámica de la altura de la planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	208
Figura 31. Relación entre la altura de planta (AP) con el número de nudos (NN) (A) y la longitud de entrenudo (LE) (B). Los puntos son datos hasta los 127dds. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	209
Figura 32. Dinámica del número de nudos por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	211
Figura 33. Dinámica del número de tallos por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	212
Figura 34. Dinámica del número de hojas por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	214
Figura 35. Estimación del filocrono con suministró de fósforo. Primavera 2007. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	215

	Página
Figura 36. Relación entre el número de hojas con el número de nudos. Los puntos son datos hasta los 127 dds. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	217
Figura 37. Relación entre índice de área foliar (IAF) a los 156 dds y la tasa relativa de senescencia (TRS) durante el periodo 127–156. Datos entre círculos rojos y azules corresponden a Montecillo y San Pablo, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	220
Figura 38. Dinámica del índice de área foliar (IAF) en haba con suministro de fósforo sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	222
Figura 39. Relación entre el máximo índice de área foliar (IAF) y el máximo número de foliolulos (A), máxima área foliar (AF) (B) y tasa de expansión foliar (TEF) (C). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	223
Figura 40. Relación entre la duración del área foliar total (DAFT) el máximo índice de área foliar (IAF) (A), máxima área foliar (AF) (B) y máximo número de foliolulos (C). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	224
Figura 41. Dinámica del porcentaje de radiación interceptada (RI) en haba con suministro de fósforo sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	225
Figura 42. Relación entre la radiación interceptada (RI) y el máximo índice de área foliar (IAF) (A), máxima área foliar (AF) (B), máximo número de foliolulos (C) y duración del área foliar total (DAFT). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	226
Figura 43. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con suministro de fósforo. Montecillo, Méx. Primavera, 2007. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹ . dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica.....	231

	Página
Figura 44. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con suministro de fósforo. San Pablo Ixayoc, Méx. Primavera, 2007. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹ . dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica	232
Figura 45. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con suministro de fósforo. Cd. Serdán, Puebla. Primavera, 2007. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹ . dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica	233
Figura 46. Relación entre la Materia seca hoja (MSH) hasta los 127 dds y el índice de área foliar (IAF) y el área foliar (AF). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	234
Figura 47. Relación entre la Materia seca tallo (MST) hasta los 127 dds y la altura de planta (AP) y número de tallos. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	234
Figura 48. Relación entre la Materia seca total (MST) hasta los 127 dds y la radiación interceptada (RI) y la MST y la duración del área foliar total (DAFT) a la MF. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	235
Figura 49. Rendimiento de vaina verde (RVV) en haba con suministro de fósforo (P) sembrada en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2006.....	237
Figura 50. Relación entre: número de vainas (NV) y peso de vaina (PV) (A), peso de cincuenta semillas (PCS) y número de semillas (NS) (B), tasa de crecimiento de semilla (TCS) y NS (C) y tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS) y PCS (D). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	241
Figura 51. Rendimiento de grano seco (RGS) en haba con suministro de fósforo (P) sembrada en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2006.....	245
Figura 52. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: índice de área foliar (IAF) máximo (A), duración del área foliar total (DAFT) (B) y radiación interceptada (RI). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	246

	Página
Figura 53. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: número de semillas (NS) (A), peso de cincuenta semillas (PCS) (B), número de semillas por vaina (NSV) (C) y materia seca total (MST) (D). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	247
Figura 54. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: tasa de crecimiento de semilla (TCS) (A), índice reproductivo (IC) (B), índice de partición (IP) (C), índice de cosecha (IC) (D) y tasa de crecimiento individual de semilla (E). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha ⁻¹	248
Figura 55. Dinámica de la altura de la planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	251
Figura 56. Relación entre la altura de planta (AP) con el número de nudos (NN) (A) y la longitud de entrenudo (LE) (B). Los puntos son datos hasta los 127dds. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	252
Figura 57. Dinámica del número de nudos por planta y por m ² en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A y D), San Pablo (B y E) y Cd. Serdán (C y E). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	253
Figura 58. Dinámica del número de tallos por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A y D), San Pablo (B y E) y Cd. Serdán (C y F). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	255
Figura 59. Dinámica del número de hojas por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	257
Figura 60. Estimación del filocrono con suministró de fósforo. Primavera 2007. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	258
Figura 61. Relación entre el número de hojas con el número de nudos. Los puntos son datos hasta los 127 dds. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	260

	Página
Figura 62. Dinámica del índice de área foliar (IAF) en haba con diferentes densidades bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	264
Figura 63. Relación entre el máximo índice de área foliar (IAF) y el máximo número de hojas (A) y máximo número de foliolulos (NF) (B). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	265
Figura 64. Relación entre la duración del área foliar total (DAFT) y el máximo número de foliolulos (A) y el máximo índice de área foliar (B). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	266
Figura 65. Dinámica del porcentaje de radiación interceptada (RI) en haba con diferentes densidades sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	267
Figura 66. Relación entre la radiación interceptada (RI) y el máximo número de foliolulos (NF) (A), máximo índice de área foliar (IAF) (B), y duración del área foliar total (DAFT). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	268
Figura 67. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con diferentes densidades de población. Montecillo, Méx. Primavera, 2007. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻² . dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica	273
Figura 68. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con diferentes densidades de población. San Pablo Ixayoc, Méx. Primavera, 2007. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻² . dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica.....	274
Figura 69. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con diferentes densidades de población. Cd. Serdán, Puebla. Primavera, 2007. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻² . dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica.....	275

	Página
Figura 70. Relación entre la máxima materia seca en hoja (MSH) y el máximo índice de área foliar (IAF), máxima radiación interceptada (RI) y duración del área foliar total (DAFT). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	276
Figura 71. Relación entre la materia seca tallo (MST) por unida de superficie (m ²) hasta los 127 dds y la altura de planta (AP) y número de tallos por m ² y entre materia seca tallo por planta y AP. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	277
Figura 72. Relación entre la materia seca total (MST) a la madurez fisiológica y el máximo índice de área foliar (IAF), máxima radiación interceptada (RI) y duración del área foliar total (DAFT). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	278
Figura 73. Materia seca total (MST) por m ² y planta (pl) a la madurez fisiológica con diferentes densidades de siembra (DP) en haba sembrada en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Sedán (C). Temporal 2007. Símbolos llenos por m ² y símbolos vacíos por planta.....	280
Figura 74. Rendimiento de vaina verde (RVV) en haba con diferentes densidades de población (DP) sembrada en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2006. Temporal 2007. Símbolos llenos por m ² y símbolos vacíos por planta.....	281
Figura 75. Relación entre: número de vainas (NV) y peso de vaina (PV) (A), peso de cincuenta semillas (PCS) y número de semillas (NS) (B), tasa de crecimiento de semilla (TCS) y NS (C) y tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS) y PCS (D). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	283
Figura 76. Relación entre la tasa de crecimiento de semilla (TCS) (A) y la tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS) (B) con el tiempo de de llenado de vaina (TV) Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	285
Figura 77. Rendimiento de grano seco (RGS) en haba con diferentes densidades de población (DP) sembrada en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. Temporal 2007. Símbolos llenos por m ² y símbolos vacíos por planta.....	289

	Página
Figura 78. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: índice de área foliar (IAF) máximo (A), duración del área foliar total (DAFT) (B) y máxima radiación interceptada (RI). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	290
Figura 79. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: número de semillas (NS) (A), número de vainas (NV) (B), peso de cincuenta semillas (PCS) (C), número de semillas por vaina (NSV) (D) y materia seca total (MST) (E). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	291
Figura 80. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: tasa de crecimiento de semilla (TCS) (A), tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS) (B), índice reproductivo (IR) (C), índice de partición (IP) (D) e índice de cosecha (IC) (E). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m ⁻²	292
Figura 81. Variación del rendimiento de grano seco (RGS) en función de la densidad de población (DP). Densidad óptima promedio. Datos N=12.....	293
Figura 82. Variación del rendimiento de grano seco (RGS) en función de la densidad de población (DP) para diferentes ambientes.....	294

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

CAPITULO I

	Página
Cuadro 1. Variación de algunos elementos del clima en tres regiones, durante el desarrollo vegetativo de cultivares de haba. Primavera 2006.....	112
Cuadro 2. Variación de algunos elementos del clima en tres regiones, durante el desarrollo reproductivo de cultivares de haba. Primavera 2006.....	113
Cuadro 3. Promedio de las variables evaluadas en cultivares de haba sembrados en Montecillo. Primavera 2006.....	114
Cuadro 4. Promedio de las variables evaluadas en cultivares de haba sembrados en San Pablo. Primavera 2006.....	114
Cuadro 5. Promedio de las variables evaluadas en cultivares de haba sembrados en Cd. Serdán. Primavera 2006.....	115
Cuadro 6. Estimación del crecimiento de cultivares de haba sembrados en Montecillo. Primavera 2006.....	115
Cuadro 7. Estimación del crecimiento de cultivares de haba sembrados en San Pablo. Primavera 2006.....	116
Cuadro 8. Estimación del crecimiento de cultivares de haba sembrados en Cd. Serdán. Primavera 2006.....	117

CAPITULO II

	Página
Cuadro 1. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87, 127 y 156 días después de la siembra (dds) en función del suministro de nitrógeno. Montecillo, México. Primavera 2007.....	330
Cuadro 2. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87, 127 y 156 días después de la siembra (dds) en función del suministro de nitrógeno. San Pablo, México. Primavera 2007.....	331
Cuadro 3. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87 y 127 días después de la siembra (dds) en función del suministro de nitrógeno. Cd. Serdán, Puebla. Primavera 2007.....	331
Cuadro 4. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127, 156 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función del suministro de nitrógeno. Montecillo, México. Primavera 2007.....	332

	Página
Cuadro 5. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127, 156 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función del suministro de nitrógeno. San Pablo, México. Primavera 2007.....	333
Cuadro 6. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función del suministro de nitrógeno. Cd. Serdán, Puebla. Primavera 2007.....	334
Cuadro 7. Rendimiento de vaina verde (RVV, g m^{-2}), peso de vaina (PV, g) y número de vainas (NV, m^{-2}) con suministro de nitrógeno en tres localidades del altiplano mexicano. Primavera 2007.....	334
Cuadro 8. . Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87, 127 y 156 días después de la siembra (dds) en función del suministro de fósforo. Montecillo, México. Primavera 2007.....	335
Cuadro 9. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87, 127 y 156 días después de la siembra (dds) en función del suministro de fósforo. San Pablo, México. Primavera 2007.....	336
Cuadro 10. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87 y 127 días después de la siembra (dds) en función del suministro de fósforo. Cd. Serdán, Puebla. Primavera 2007.....	336
Cuadro 11. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127, 156 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función del suministro de fósforo. Montecillo, México. Primavera 2007.....	337
Cuadro 12. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127, 156 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función del suministro de fósforo. San Pablo, México. Primavera 2007.....	338
Cuadro 13. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función del suministro de fósforo. Cd. Serdán, Puebla. Primavera 2007.....	339
Cuadro 14. Rendimiento de vaina verde (RVV, g m^{-2}), peso de vaina (PV, g) y número de vainas (NV, m^{-2}) con suministro de fósforo en tres localidades del altiplano mexicano. Primavera 2007.....	339

	Página
Cuadro 15. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87, 127 y 156 días después de la siembra (dds) en función de la densidad de población. Montecillo, México. Primavera 2007.....	340
Cuadro 16. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87, 127 y 156 días después de la siembra (dds) en función de la densidad de población. San Pablo, México. Primavera 2007.....	341
Cuadro 17. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87 y 127 días después de la siembra (dds) en función de la densidad de población. Cd. Serdán, Puebla. Primavera 2007.....	341
Cuadro 18. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127, 156 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función de la densidad de población. Montecillo, México. Primavera 2007.....	342
Cuadro 19. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127, 156 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función de la densidad de población. San Pablo, México. Primavera 2007.....	343
Cuadro 20. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127 después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función de la densidad de población. Cd. Serdán, Puebla. Primavera 2007.....	344
Cuadro 21. Rendimiento de vaina verde (RVV, g m^{-2}), peso de vaina (PV, g) y número de vainas (NV, m^{-2}) en función de la densidad de población en tres localidades del altiplano mexicano. Primavera 2007.....	344

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Las leguminosas

La familia de las leguminosas (Papilionacea de la sistemática clásica) es una de las más numerosas y diversas de las fanerógamas (plantas con flores). Incluye 650 géneros y 17000 especies agrupados en subfamilias Caesalpinioideae, Mimosoidae y Papilionoideae. Las leguminosas están presentes en formas silvestres y cultivadas en todo el mundo aunque las subfamilias Caesalpinioideae y Mimosoidae están concentradas en climas tropicales. Las Papilionoideae se encuentran más distribuidas ya que se adaptan a cualquier clima (Meneses *et al.*, 1996).

Tradicionalmente (sin incluir el ornamental) se han considerado las leguminosas según su uso en cinco grandes grupos: leguminosas grano para alimentación humana y animal, leguminosas grano oleaginosas, leguminosas forrajeras, leguminosas hortícolas y abono verde y cubierta vegetal. Dicha clasificación es dinámica en cuanto a la atribución de las especies a cada grupo, existiendo especies que han cambiado su posición a través del tiempo, como por ejemplo la soya, cultivada tradicionalmente por su grano para alimentación humana, siendo considerada hoy en día como planta oleaginosa. Las hay también que se sitúan en varios grupos, caso frijol, haba y chicharo, que se cultivan para grano seco o como productos hortícolas. A estos usos tradicionales se suman actualmente otros nuevos, tales como la recuperación de tierras contaminadas por metales pesados, como cultivos trampa para hacer germinar determinadas plantas parásitas, para fijación de taludes, para productos farmacéuticos entre otros (Nadal *et al.*, 2001).

Desde la antigüedad las leguminosas en todo el mundo han sido de gran importancia para el hombre, formando parte de la dieta, debido, principalmente, a su alto contenido en proteínas y, en algunos casos, por la adecuada proporción de grasas que presentan la semilla de muchas especies (Nadal *et al.*, 2001). El contenido de proteína oscila

entre 17 – 25% en los granos secos (salvo en la soya cuyo contenido de proteína es del 38%). Aunque las leguminosas se cultivan en menor cantidad que los cereales, su contribución al suministro mundial de proteína para el consumo humano y animal es considerable, probablemente del 8% (Meneses *et al.*, 1996).

Se conoce que el cultivo de leguminosas enriquece el suelo, debido a la fijación biológica del nitrógeno atmosférico que realizan las bacterias *Rhizobium leguminosarum* Baldwin y Fred, en simbiosis con estas especies. La inclusión de leguminosas en las rotaciones de cultivo, además de incrementar la fertilidad del terreno, mejora la estructura del suelo y contribuyen al saneamiento de los cultivos. Por todo ello, el papel de las leguminosas en la diversificación de los sistemas de cultivos y en el mantenimiento de la fertilidad del suelo en el marco de la agricultura sostenible, tiene un peso cada vez mayor en la política agrícola de los países desarrollados (Nadal *et al.*, 2001).

En México las principales leguminosas que se cultivan son: arvejón, cacahuate, chicharo, veza, frijol (grano y ejote/verdura), garbanzo (grano y forrajero), haba (grano y ejote/verdura), lenteja y soya. A partir de 1980 la superficie dedicada a estos cultivos ha disminuido al pasar de 2 millones 400 mil hectáreas a 2 millones 100 mil registradas en el 2006. En los periodos 1981 – 1982 y 1986 – 1987 las superficie superó los 3 millones de hectáreas. Del total de la superficie cerca del 80% es destinada a la siembra de frijol para la producción de grano, sin embargo los rendimientos son de apenas 0.6 ton ha⁻¹. A partir del 2001 comenzó a sembrarse veza para grano y soya para la producción de semilla con un rendimiento considerado medio y bajo de 0.87 y 1.42 ton ha⁻¹, respectivamente (SIAP, 2008).

En lo que se refiere a la producción de leguminosas aumentó de 1980 al 2006 al pasar de 1 millón 800 mil toneladas a 2 millones de toneladas, encontrando su valor máximo en 1990 con 2 millones 300 mil toneladas. El frijol destacó con 1 millón de toneladas en promedio (SIAP, 2008)

1.2. Las leguminosas de grano

Por leguminosa grano se incluyen un conjunto de especies cuya utilidad primaria reside en las semillas con interés tanto en la alimentación humana como animal, debido a su alto contenido de proteína. El cacahuate y la soya, siendo también leguminosas, se incluyen dentro del grupo de plantas oleaginosas por su contenido de aceite (Nadal *et al.*, 2001).

El frijol, haba y chícharo en estado verde para consumo humano en fresco se incluyen en los cultivos hortícolas. Por selección artificial también se han conseguido variedades en las que el máximo interés industrial reside en el contenido de grasa, sin que esto quiera decir que el subproducto de la extracción de aceite sea de menor importancia práctica (Nadal *et al.*, 2004). Las leguminosas grano tienen también otros usos, generalmente considerados secundarios como: forraje, abono verde, ensilado henificado o paja. Como norma a medida que más se desarrolla la agricultura de un país, la utilización (grano, vaina, forraje, aceite, entre otros) va siendo cada vez más específica, no solo en cuanto a especie botánica sino también de variedad. La duplicidad o multiplicidad de uso es de potencial incluso en esos casos, y es siempre real en agriculturas de tipo primitivo (Nadal *et al.*, 2004).

Según la FAO, para el año 2005 se aprecia un lento incremento en la producción de leguminosas grano a nivel mundial. En el año 2002 la producción fue de 56.5 millones de toneladas, mientras que en el 2003 se estimaron 57.7 millones de toneladas. Para el año 2004 se incrementó a 61.4 millones de toneladas, disminuyendo a 60.7 millones de toneladas en el 2005. En América Latina la producción ha disminuido de 6.6 a 6.2 millones de toneladas del 2002 al 2005. China es el principal país productor de leguminosas de grano, con el 17% de la producción mundial en el 2005, seguida de Brasil, India, Myanmar, México, Estados Unidos, Etiopía, Uganda y Egipto (FAOSTAT, 2007).

1. 3. Importancia del haba

El haba es una de las leguminosas más importantes en el mundo. Durante la década de los 70' fue la especie con mayor superficie cultivada (Rees *et al.*, 2000).

Existen dos tipos de cultivo según el objeto de la producción, aquel en que los frutos se recogen en verde y se destinan al consumo humano y el que se cosecha a la madurez, pudiendo destinar el grano tanto al consumo humano como a la fabricación de piensos (Meneses *et al.*, 1996). En el norte de Europa y Canadá, las habas de tamaño pequeño y medio se emplean para alimentar ganado y aves, en más de un 30 y 15% para ganado vacuno y porcino, respectivamente, aunque se recomienda un suplemento con metionina cuando se trata de la alimentación de aves (Cubero y Moreno, 1983).

Las vainas verdes de haba, así como los granos jóvenes (denominados “tipo baby” incluso algunos “mini baby”) se destina a la industria transformadora. Otros productos de esta especie es la vaina con grano verde pero en un estado de desarrollo más próximo a la maduración, pudiendo ser destinada al mercado en fresco o bien a la industria transformadora (precocidos enlatados) o a la congeladora (muestras congeladas). Debido a su alto contenido de proteína se utiliza en algunos países como dilatadoras de carne, o sustituto en productos como salsas o pasteles de carne. La semilla con un contenido de humedad del 9% se descascarilla y se muele para producir harina. Esta leguminosa tiene también utilidad como abono verde o para ensilaje. La paja o los rastrojos que quedan después de la recolección pueden utilizarse como forraje (Nadal *et al.*, 2004) o bien para la extracción de bioetanol y biogás (Pettersson *et al.*, 2007). Investigaciones indican que podría utilizarse (lo mismo que la soya) para la producción de alimentos fermentados. En Bélgica se ha desarrollado un procedimiento para la extracción de almidón y proteínas de la testa de la semilla (Moreno y Cubero, 1983)

Además la planta y semillas jóvenes contienen la más alta concentración de L-dopa (3-(3, 4-dihidroxifenil)-L-alanina), químico usado en las drogas de prescripción usado

para tratar la enfermedad de Parkinson. Algunos estudios médicos han demostrado que el ingerir habas puede ayudar a controlar los síntomas de Parkinson (Rabey *et al.*, 1993).

La superficie mundial cultivada de habas en el año 2005 fue aproximadamente de 3.5 millones de hectáreas de los cuales cerca de 94% (3.3 millones de ha y 4.4 millones de toneladas) se dedicaron a la producción de grano, siendo China (1,800,000 toneladas) la que produce 41% del total, siguiendo por orden de importancia Etiopia (601,670 ton), Francia (372,420 ton) y Egipto (350,000 ton). México se sitúa en el lugar 18 con 25,200 ton. En lo que respecta a la producción de haba hortícola (verde), la superficie dedicada a su cultivo en ese año fue de casi 186,760 ha con una producción de 1,256,000 ton siendo Bolivia (30,430 ha) y Argelia (23,280 ha) los países que más superficie dedican a su cultivo, mientras que Argelia y China son los principales productores con 207,500 ton y 140,000 ton, respectivamente. En México la producción es de 100,730 ton (FAOSTAT, 2007).

En el país el cultivo de habas ha evolucionado a la baja en los últimos años, especialmente en lo que respecta a la superficie de habas secas, pasando de 40,983 ha en 1980 a 19,270 ha en el 2005, produciéndose un máximo de la superficie dedicada a este cultivo en 1987 con 47,894 ha. En lo que se refiere al cultivo de haba verde también ha habido una evolución a la baja pasando de 17,745 ha en el año 1981 a 13,430 en 2005, produciéndose en este caso un máximo en 1997 con 22,252 ha. Por entidad federativa para el año 2005, México (28,749 ton) y Puebla (14,324 ton) son los principales estados productores para haba verde y seca, respectivamente con un rendimiento promedio de 5.6 y 1.0 ton ha⁻¹. Estos, son similares a los obtenidos a nivel nacional (5.94 y 1.07 ton ha⁻¹) (FAOSTAT, 2007).

1.4. Limitaciones en el cultivo de haba

No obstante la importancia social y económica que genera este cultivo, la superficie fluctúa año con año con rendimiento bajo, debido en parte a la falta de un manejo del cultivo más apropiado en función de la diversidad de ambientes en que se desarrolla que incluye la búsqueda de cultivares de máximo rendimiento para cada localidad. Martell y Díaz (2000), mencionan la importancia de introducir nuevas variedades de haba a diversas zonas agroecológicas y así encontrar aquellas que presenten la mayor productividad, calidad de vainas y grano, en comparación con la variedad tradicional. MACA (2000), señala que una de las primeras decisiones críticas que el productor debe tomar al inicio del ciclo agrícola es la elección de la variedad más apropiada, la cual debe tener un alto potencial de rendimiento, ciclo más corto, adaptabilidad a diversos suelos y condiciones de manejo. Cantun (2005), menciona que debido a la susceptibilidad del haba a enfermedades y porque se siembra en temporal es necesario obtener una variedad que mantenga su estabilidad y pueda mantener su rendimiento en el tiempo y que tenga la capacidad de adaptarse a otros ambientes similares. Oblea (1995) menciona que el haba presenta una gran variación en el rendimiento a través del tiempo y ambientes por lo que es necesario realizar ensayos con diferentes cultivares y ambientes no solo para aumentar la producción de grano si no también su adaptabilidad.

Por otra parte, la fertilización en haba es parte importante en el manejo agronómico del cultivo y de la nutrición del mismo (Sánchez *et al.*, 2001). Guadarrama (2002), observa un incremento en el rendimiento cuando se fertiliza con 100 kg de N al momento de la siembra. Sin embargo, Pichardo (2005) y Escalante y Rodríguez (2002a) mencionan que se obtienen mejores resultados cuando la fertilización nitrogenada se realiza de manera fraccionada (la mitad al momento de la emergencia y el resto 40 días después). No obstante, Sánchez *et al.* (2001) y Escalante y Rodríguez (2002b) plantean la necesidad de evaluar otros factores de importancia como fertilización fosfatada y diferentes arreglos topológicos.

El presente estudio pretende en una primera fase evaluar el crecimiento y rendimiento en 15 cultivares de haba establecidos en 3 localidades del centro de México. En una segunda fase se estudiarán estrategias de manejo de cultivo para lograr una mayor producción. Así el objetivo del presente estudio fue evaluar:

- 1) El crecimiento y rendimiento de cultivares de haba en diferentes ambientes y elegir el más productivo de acuerdo a la región de estudio.
- 2) En el cultivar o cultivares sobresaliente (s), la fertilización nitrogenada, fosfatada y densidad de población para lograr un máximo rendimiento en los ambientes en estudio.

Las hipótesis planteadas fueron las siguientes:

- 1) Los cultivares de haba muestran un crecimiento y rendimiento similar en los diferentes ambientes de estudio.
- 2) El crecimiento y rendimiento de los cultivares no es afectado por la variación en el nivel de nitrógeno, fósforo y cambios en la densidad de población en los ambientes en estudio.

CAPÍTULO I. CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE HABA (*Vicia faba* L.) EN FUNCIÓN DEL CULTIVAR Y AMBIENTE

RESUMEN

Los estados de México y Puebla aportan cerca del 75% de la producción nacional de haba. Sin embargo, en ambos el uso de cultivares locales de producción limitada es muy común. Por lo tanto, con el objeto de incrementar el rendimiento de haba en la región es necesario la búsqueda de cultivares que expresen un crecimiento y rendimiento superior a los locales. El objetivo de esta investigación fue determinar en haba si cultivares introducidos expresan un rendimiento y componentes superior a los locales y si esa tendencia se mantiene en cada ambiente de estudio. Así mismo, determinar los índices ambientales que se relacionan con el rendimiento del haba. En el 2006 bajo condiciones de temporal se sembraron a la densidad de 4.2 plantas m⁻² 14 cultivares de haba (incluyendo dos locales) en Montecillo, Texcoco, México el 26 de mayo; San Pablo Ixayoc, Texcoco, México el 29 de mayo y Ciudad Serdán, Puebla el 30 de marzo, que contrastan en características del suelo, altitud, temperatura y precipitación. El diseño experimental fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. En Montecillo, los cultivares mostraron el ciclo más corto (146 días después de la siembra (dds)). En San Pablo el ciclo fue de 156 dds y en Cd. Serdán de 210 dds siendo esta última localidad la de ciclo más largo. A la madurez fisiológica en San Pablo se encontró la mayor altura de planta y número de nudos; y a los 89 dds el mayor número de foliolulos y área foliar en los cultivares introducidos Tarragona Amarilla 1, 2 y 3. Para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán el mayor rendimiento en vaina verde correspondió a los cultivares no locales Blanca (5.0 ton ha⁻¹), Monarca (9.4 ton ha⁻¹) y Cochinera Morada (10.3 ton ha⁻¹) que se relacionó con un mayor número de vainas y peso individual de vaina. En Montecillo y Cd. Serdán los cultivares locales (Cochinera Montecillo y Pico de Orizaba, respectivamente) presentaron la mayor producción de materia seca total. En San Pablo ésta correspondió al cultivar Juchitepec (introducido). El mayor rendimiento de grano (g m⁻²) para Montecillo, San Pablo y Cd.

Serdán se encontró en el cultivar Cochinera Montecillo (local), Cochinera Morada (introducido) y Blanca (introducido). Un análisis de estabilidad entre cultivares y ambiente indica que el cultivar Blanca presentó un rendimiento de menor variación en la regiones de estudio.

Palabras clave: *cultivar local, cultivar introducido, grados día desarrollo, rendimiento de vaina verde, rendimiento de grano seco, estabilidad*

ABSTRACT

The states of México and Puebla contribute 75% of national faba bean production. However, in both the use of local cultivars is very common. These are generally low yields. Therefore, is needed to find cultivars that express a growth and yield higher than local cultivars. The objective of this research was to determine if faba bean cultivars introduced express a higher yield than local cultivars. During 2006, under rainfed conditions were sowed at a density of 4.2 plants m⁻² fourteen faba bean cultivars (including two locals) in Montecillo, Texcoco, México on May 26, San Pablo Ixayoc, Texcoco, México on May 29 and Ciudad Serdán, Puebla on March 30. These sites contrast in soil, altitude, temperature and precipitation. A randomized complete block design with four replicates was used. In Montecillo, the cultivars showed the shortest cycle (146 days after sowing (das)). In San Pablo the cycle was 156 das and 210 das in Cd. Sedán. The highest plant height and number of nodes to physiological maturity was shown in San Pablo. The highest number of leaflets and leaf area (89 das) in San Pablo was found in non-local cultivars: Tarragona Amarilla 1. Tarragona Amarilla 2 y Tarragona Amarilla 3. In Montecillo, San Pablo and Cd Serdán the largest green pod yield was observed in non-local cultivars Blanca (5.0 ton ha⁻¹), Monarca (9.4 ton ha⁻¹) and Cochinera Morada (10.3 ton ha⁻¹). The number of pods and pod weight were correlated with pod yield. In Montecillo and Cd. Serdán local cultivars (Cochinera Montecillo and Pico de Orizaba, respectively) had the highest total dry matter production. In San Pablo the highest biomass was shown in non-local cultivar Juchitepec. The highest grain yield (g m⁻²) for Montecillo, San Pablo and Cd Serdán was found in the cultivar Cochinera Montecillo (local cultivar), Cochinera Morada (non-local cultivar) and Blanca (non-local cultivar). Based on the stability analysis, cultivar Blanca was found to be stable for grain yield.

Keywords: *local cultivar, cultivar non-local, degree-days, green pod yield, dry grain yield, stability*

I. INTRODUCCIÓN

Un cultivo agrícola está constituido por un conjunto de plantas cuyo fondo genético, normalmente similar o uniforme entre individuos que representa el genotipo. Durante la estación de cultivo, una combinación particular de suelo, clima, plagas y enfermedades y competencia entre plantas del mismo cultivo y con otras especies (maleza), forma un ambiente único que interactúa con el genotipo, lo que resulta en la expresión del fenotipo. En consecuencia, la expresión de atributos fenotípicos de interés, como el rendimiento y caracteres asociados a la calidad, está determinada en diferentes proporciones según el atributo y el sistema analizado, por efectos atribuibles al ambiente (A), al genotipo (G) y a la interacción entre genotipo y ambiente (G×A) (de la Vega y de la Fuente, 2003).

Gran parte del éxito logrado en los últimos años para incrementar el rendimiento se ha debido a una mejora y estabilización del ambiente (uso de fertilizantes y agroquímicos, prácticas de cultivos, entre otros) y al desarrollo y utilización de un número limitado de cultivares de amplia adaptación, capaces de responder positivamente a dichas mejoras ambientales. En contraste, tanto menor es la disponibilidad de insumos prevista para el futuro como la expansión de las fronteras agrícolas, imponen nuevos sistemas de producción caracterizados por el ambiente de alta variabilidad. En este marco, es de importancia crucial para aprovechar de manera óptima la oferta de recursos del ambiente de producción, la elección del genotipo, que determina parcialmente los efectos G y de interacción G×A involucrados en la expresión fenotípica, tolerando o evitando las adversidades bióticas y abióticas que puedan ocurrir (de la Vega y de la Fuente, 2003).

Entre atributos que generalmente se consideran cuando se elige un genotipo se encuentran el potencial de rendimiento, la calidad del grano (en sus diferentes aspectos) la resistencia tolerancia a adversidades bióticas, la resistencia a la sequía, el comportamiento a temperaturas altas y bajas. Al mismo tiempo, la duración del ciclo del

cultivo y las prácticas de producción son consideraciones importantes a tener en cuenta para decidir el mejor genotipo a utilizar en cada situación particular (de la Vega y de la Fuente, 2003).

Análisis estadísticos de ensayos, en los que se evalúa un conjunto de genotipos a lo largo de un conjunto de ambientes (normalmente definidos por combinaciones sitio-año), permiten estimar los efectos ambientales, genotípicos y la interacción GxA y contribuir a la elección de los cultivares mejor adaptados a cada tipo de ambiente. Si no existieran interacciones GxA asociadas a los sistemas de producción, la elección de genotipo a utilizar sería simple, ya que el mejor genotipo en un ambiente particular sería el mejor genotipo a lo largo de toda la población de ambientes del sistema (o sea, las diferencias entre genotipos estarían sólo asociadas al efecto genotípico) (de la Vega y de la Fuente, 2003).

1.1. La interacción genotipo x ambiente

Para una efectiva utilización de los recursos vegetales en los programas de fitomejoramiento existe la necesidad de evaluar y describir sus variaciones. El problema se complica porque numerosos caracteres se heredan cuantitativamente y son afectados por el ambiente (Cubero y Flores, 2005). La amplitud de la adaptación de los genotipos, su nivel de rendimiento, calidad y resistencia a distinto tipo de estrés (sea biótico o abiótico), debe ser contrastada mediante ensayos multilocales (Crossa, 1990). Lo anterior se denomina interacción G x A

La interacción GxA surge cuando una variación ambiental tiene distinto efecto sobre genotipos diferentes o, a la inversa, cuando un mismo genotipo responde de distinta manera en diversos ambientes. En otras palabras, se dice que existe interacción GxA cuando no se puede asociar una desviación producida por un ambiente específico a una variable dada sin tener en cuenta el genotipo sobre el cual aquella actúa (Romagosa y Fox, 1993). Fox *et al.* (1997) definen la interacción GxA como la

expresión genotípica diferencial a través de los ambientes. La interacción G×A puede definirse como el comportamiento relativo diferencial que exhiben los genotipos en diversos ambientes; de tal forma que cuando un ambiente cambia es probable que los fenómenos hereditarios lo hagan también (García, 1985). Por otra parte, Bucio–Alanís (1966) define la interacción genotipo por ambiente como la diferencia entre el valor fenotípico observado y el esperado de una variedad en cierto ambiente.

La comparación de medias en distintos ambientes es apropiada únicamente para evaluar la adaptación del material vegetal ensayado, en donde la interacción G × A no es significativa. Sin embargo, cuando lo es, la selección de genotipos en un ambiente dado puede ocasionar un comportamiento diferente en otro.

Según Allard (1999), los efectos fenotípicos no están normalmente relacionados con los genes de un modo directo. Más bien resultan de una sucesión de relaciones físico-químicas e interacciones iniciadas por ciertos genes, pero modificadas por un sistema complejo de reacciones controladas o modificadas por otros genes, y por el ambiente externo, hasta determinar el “fenotipo final”. La complejidad biológica de la interacción G×A ha sido puesta de manifiesto en numerosos trabajos (Baker, 1971; Molina-Cano *et al.*, 1990; Romagosa *et al.*, 1993). Por su naturaleza, la interacción G×A, al igual que la heterogeneidad del suelo, ha sido reconocida como una de los factores que más dificultan la detección de los verdaderos valores de los genotipos en cuestión. En ocasiones, resulta que, por ejemplo, en un ambiente particular un genotipo puede mostrarse superior que otro, pero al cambiar de ambiente sucede lo contrario. Este tipo de implicaciones de la interacción en el fitomejoramiento ha servido como un poderoso catalizador en el desarrollo, de una serie de metodologías diseñadas para estudiar y, de aquí, controlar los efectos de la interacción. Por diversas razones, muchas de tales metodologías no son bien reconocidas y/o interpretadas, situación que puede incidir negativamente en la calidad de la evaluación de los genotipos (Duran y Sahagún, 1992).

1.2. Importancia de la interacción genotipo × ambiente

Se considera a la interacción G×A, siempre, que varios genotipos a cualquier nivel, individual, familiar o poblacional, se estén evaluando en una serie de ambientes (Márquez, 1992). El efecto del ambiente sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos ha sido estudiado en muchos trabajos. Sin embargo el entender la interacción entre factores ambientales y la respuesta del cultivo es muy compleja (Monteith, 1981). La evaluación de cultivares en diferentes ambientes se realiza con el objetivo de recomendar aquéllos que se comporten mejor en la mayor cantidad de ambientes de una región determinada.

Gran parte del éxito de las nuevas variedades de muchos cultivos radica en su amplia adaptación ecogeográfica como en su favorable respuesta a determinadas técnica de cultivo como el riego, la fertilización, la siembra en alta densidad, o la mecanización de determinada labores (Romagosa y Fox, 1993). En zonas agrícolas menos favorecidas, la estabilidad de la producción en un cultivo es más importante que la posibilidad de alcanzar elevados rendimientos. La interacción G×A hace ver la importancia del efecto ambiental en la adaptación y el comportamiento varietal. Su estudio ayuda a incrementar la eficiencia de la mejora.

El estudio de la interacción G×A es un elemento fundamental en aspectos como: evaluación de adaptación amplia o específica, elección de localidades para llevar a cabo procesos de selección, selección en generaciones tempranas cuando se realiza en ambientes con estrés y sin estrés y eliminación de un amplio número de genotipos entre los genotipo de muchos ambientes, permitiendo aconsejar menos líneas para intensificar los ensayos básico de selección. Además se puede aplicar en contextos tales como la selección de genotipos individuales, la selección de genotipos de estructura familiar, en la evaluación de poblaciones mejoradas, la evaluación de variedades mejoradas, en los estudios de competencia interindividual, la investigación sobre cultivos asociados interespecíficos, la producción de semillas mejoradas, las observaciones primarias de material germoplasmico introducido, en la descripción

varietal, así como la resistencia genética a factores adversos (Márquez, 1992a). Los efectos de la interacción GxA además de utilizarse para clasificar variedades o genotipos en general, puede utilizarse para la clasificación de ambientes. Cervantes (1983), sugiere que la clasificación de variedades nativas de un área por medio de los efectos de la interacción GxA, puede ser una forma adecuada de clasificación de ambientes para definir las regiones agrícolas, ya que a través de la interacción variedad con el ambiente se manifiesta parte del patrimonio genético acumulado durante su proceso evolutivo, concerniente a genes de adaptación. En cambio la clasificación directa de ambientes por efectos de la interacción GxA, puede ser apropiada cuando experimentalmente se evalúan variedades mejoradas, producto de la hibridación de plasma nativo del área de interés con material exótico, o de exótico con exótico, ya que la similitud entre las interacciones de los ambientes y un mayor número de ambientes serán una misma variedad, mientras mayor sea la aptitud de adaptación lograda en ella durante el proceso de mejoramiento genético (Cervantes *et al.*, 1978). Los tipos de clasificación ambiental, a través de variedades nativas o de ambientes dependerán directamente de los caracteres de la planta utilizados para la clasificación, debido a las diferencias entre caracteres con respecto a la interacción GxA.

1.3. Tipos de interacción genotipo x ambiente

La elección de genotipos, basada en la utilización combinada de adaptación amplia y específica, requiere del entendimiento de tres rasgos de la interacción GxA presentes en un sistema de producción: su naturaleza, repetitividad y predecibilidad (Cooper y Fox, 1996; Basford y Cooper, 1998). Según su naturaleza, se pueden distinguir entre interacciones que no resultan en cambios de ranking entre genotipos cuando son evaluados en distintos ambientes (interacciones cuantitativas, “noncrossover” o debidas a la heterogeneidad de la varianza fenotípica entre ambientes) y aquellas que determinan los cambios de ranking (interacciones cualitativas, “crossover” o debidas a la falta de correlación genética entre ambientes). Estas últimas son de particular relevancia, ya que constituyen el componente de la interacción GxA que tiene el

potencial de influir sobre las decisiones de elección de un genotipo. Ambos tipos de interacción se encuentran normalmente presentes en los ensayos multi-ambientes (Cooper *et al.*, 1996) y pueden calcularse sus contribuciones individuales.

Las interacciones GxA repetibles son el resultado de las respuestas específicas de diferentes combinaciones de genes o combinaciones de factores ambientales identificables (Bäzinger y Cooper, 2001). En un sistema de producción, los factores ambientales determinantes de interacción GxA repetibles se presentan con una frecuencia determinada. En cada caso, la elección del genotipo más apropiado depende del conocimiento de dicha frecuencia. Las interacciones GxA no repetibles son aquellas que no se encuentran asociadas a patrones claros de interacción GxA y, consecuentemente, no son utilizables para la elección de genotipos (Basford y Cooper, 1998).

Se observarán interacciones GxA predecibles cuando los factores ambientales que se determinan presenten valores consistentemente diferentes entre localidades a lo largo de todos los años. Las interacciones genotipo por localidad (GxL) son, en consecuencia, predecibles y pueden utilizarse para dividir una región de cultivo en sub-regiones más homogéneas, denominadas mega-ambientes (CIMMYT, 1989), y elegir y seleccionar genotipos específicamente adaptados. Tanto la teoría evolutiva como la experiencia, sugieren que se puede alcanzar incrementos de rendimiento en un determinado tipo de ambiente a expensas de mayor adaptabilidad a un amplio rango de ambientes (Allard y Bradshaw, 1964).

1.4. Estabilidad y adaptabilidad

No existe una única definición de estabilidad. Se emplean términos como estabilidad fenotípica, estabilidad del rendimiento, adaptación y adaptabilidad, con un significado diferente. La evaluación de genotipos en diferentes ambientes y la presencia o no de la interacción con el ambiente, puede señalarse como estabilidad. De esta manera

Evenson *et al.* (1978) definieron la estabilidad como el comportamiento de un genotipo con respecto a aquellos factores del ambiente que varían de una localidad a otra, estableciendo que mientras más estable es un genotipo, menos sensitivo es su comportamiento a los cambios ambientales dentro de una determinada localidad, y cada genotipo alcanza su máximo comportamiento biológico en un ambiente particular que puede determinarse como óptimo.

Por su parte, Laing (1978) definió la “estabilidad” como el comportamiento relativo de un cultivar (genotipo) ante las variaciones de las condiciones ambientales a través del transcurso del tiempo en cualquier localidad. Eberhart y Russell (1966) consideraron que los genotipos estables son aquellos que presentan una baja interacción con el ambiente en que se desarrollan.

Becker (1981) distinguió dos tipos de estabilidad genotípica. Por una parte, la “estabilidad biológica”, mediante el cual un genotipo mantiene un rendimiento constante en distintos ambientes. La necesidad de obtener elevadas respuestas genotípicas a ambientes favorables conduce al concepto de “estabilidad agronómica”, por el cual un genotipo es considerado estable si rinde relativamente bien respecto al potencial productivo de los ambientes probados.

Los genotipos que muestran una elevada estabilidad agronómica para un amplio rango de ambientes, se dice que presentan adaptabilidad general o amplia (Finlay y Willkinson, 1963) o cuando los genotipos presentan un alto nivel de comportamiento relativo bajo una gran diversidad de ambientes (Laing 1978). Por el contrario, si la estabilidad agronómica es manifestada cuando se presenta un alto nivel de comportamiento en una gama estrecha de ambientes, se dice que el genotipo tiene adaptación específica o estrecha.

Al igual que el concepto de estabilidad, los de adaptación y la adaptabilidad, son conceptos comúnmente utilizados al hablar de la interacción $G \times A$. Así, es posible definir la adaptación como el comportamiento de un genotipo en un ambiente, y la

adaptabilidad como la capacidad de hacerlo en una serie de ambientes (Márquez, 1992b). Adaptabilidad es la propiedad o habilidad de un genotipo o población de genotipos que permite la alteración de las normas de adaptación en respuesta a distintas presiones de selección (Simmons, 1962), mientras que adaptación es un estado de adecuación a un ambiente dado. Márquez (1992b), menciona que la adaptabilidad es considerada desde dos perspectivas: individual y poblacional. La adaptabilidad individual es una característica intrínseca del individuo, lo cual implica que es gobernada genéticamente. Por su parte la adaptabilidad poblacional es derivada de las interacciones entre los diferentes genotipos que coexisten en una población.

Simmons (1962) distingue entre los siguientes conceptos:

Adaptación específica de un genotipo, es la adaptación concreta del genotipo correspondiente a un ambiente limitado

Adaptación genotípica general es la capacidad de un genotipo para producir en un rango de fenotipos compatibles con un rango de ambientes determinado.

Adaptación específica de una población, es la parte de la adaptación específica de una población heterogénea que es atribuible a la interacción entre los componentes más que a la adaptación de los componentes por si mismos.

Adaptación general de una población es la capacidad de poblaciones heterogéneas para adaptarse a variedad de ambientes.

1.5. Métodos para estimar la estabilidad

El primer paso en el análisis del comportamiento de una serie de genotipos en diferentes ambientes es la comprobación de la significancia de la interacción $G \times A$. Esto requiere llevar a cabo un análisis de varianza. Cuando la interacción $G \times A$ es significativa, hemos de estudiar la naturaleza de tal interacción como paso previo a efectuar cualquier inferencia sobre los factores principales, es decir, genotipos y ambientes (Cubero y Flores, 2005).

Diversos métodos estadísticos son usados para determinar la estabilidad y adaptación de líneas avanzadas en la medida que estas van siendo evaluadas en diversos ambientes de producción. Lo anterior, tiene como objetivo final el seleccionar genotipos que manifiesten un comportamiento superior.

Barriga (1996), señala que la diferencia entre los métodos sugeridos se origina en los propios conceptos de estabilidad y en los procedimientos biométricos utilizados. Primeramente, encontramos los métodos basados en aquellos que usan los propios parámetros estadísticos como medida de estabilidad. En general, todos estos métodos dan sólo el aspecto individual de estabilidad, no proporcionando una imagen completa de respuesta.

Por otra parte, están los métodos de clasificación y agrupamiento. Estos tienen como principal ventaja, que aunque los genotipos en estudio son agrupados por datos específicos, la relativa relación entre genotipos es independiente, lo cual hace totalmente válida su comparación. Además, estos métodos describen a los genotipos cualitativamente como semejantes o no semejantes a otros genotipos (Lin *et al.*, 1986).

Recientemente se ha popularizado el denominado modelo de interacción multiplicativa y efectos principales aditivos (AMMI: Aditive Main effects and Multiplicate Interaction) descrito por Zóbel *et al.* (1988). Gauch y Zóbel (1996) reportan que el modelo AMMI es útil para entender la compleja interacción genotipo por ambiente, ganando precisión, mejorando el proceso de selección e incrementando la eficiencia experimental. El modelo AMMI primeramente estudia los efectos aditivos principales de genotipos y ambientes por medio de un análisis de varianza y describe la parte no aditiva de la variación, esto es, la interacción $G \times A$, por medio de un análisis de componentes principales (ACP). El ACP transforma los datos de un grupo de coordenadas en otro de más fácil interpretación, el cual preserva, tanto como sea posible, la configuración original del grupo de puntos y concentra un gran porcentaje de la variación o estructura de los datos iniciales en las primeras nuevas variables, llamadas *componentes principales* obtenidas en la transformación.

Zobel *et al.* (1988), compararon tres métodos tradicionales: análisis de varianza (ANDEVA), componentes principales (ACP) y análisis de regresión lineal (ARL) con el modelo AMMI, sobre el rendimiento de 7 variedades de soya cultivados en 35 ambientes de Estados Unidos. Los resultados obtenidos muestran que el ANDEVA no detectó efectos significativos en la interacción. El ACP fue incapaz de identificar y separar los efectos principales de genotipo y ambiente. El ARL sólo da una pequeña porción de la suma de cuadrados de la interacción. Finalmente los autores mencionan que el análisis AMMI reveló la existencia de un alto y significativo efecto de la interacción. Así, concluyen que los análisis estudiados son parte del complejo modelo AMMI y este es más apropiado para estudiar las variaciones en el rendimiento de soya.

Con los resultados generados del modelo AMMI es posible formar un gráfico denominado “biplot”, que tiene la particularidad de ser muy descriptivo para interpretar los patrones de respuesta de los efectos principales y de la propia interacción (Zobel *et al.*, 1988; Crossa, 1990). Originalmente el biplot fue descrito por Gabriel (1971), y su denominación obedece a que en la figura se clasifican los puntos en dos tipos, en este caso en genotipos y ambientes.

Aunque el rendimiento es el resultado de los efectos del G, del A y de la interacción solamente el efecto principal de G y la interacción GE son de relevancia en la evaluación de los genotipos (Yan *et al.*, 2000). A diferencia del ANDEVA y de la comparación de medias que sólo permiten seleccionar aquellos genotipos que superan un determinado nivel de rendimiento, el modelo de regresión de sitios (SREG) (Cornelius *et al.*, 1996; Crossa y Cornelius, 1997; Crossa *et al.*, 2002), que se recomienda cuando los efectos ambientales son la fuente de variación más importante, tiene otras ventajas adicionales. En efecto, el modelo SREG, que incluye G+GA en el termino bilineal, proporciona un análisis gráfico de fácil interpretación del comportamiento de los genotipos más el efecto de la interacción G×A, denominado biplot GGE (Yan *et al.*, 2000; 2001).

1.6. Influencia del genotipo y del ambiente sobre el desarrollo vegetativo y reproductivo del haba

1.6.1. Efecto de la temperatura: Temperatura base y temperatura óptima

El conocimiento en la fisiología de las plantas permite predecir mejor la adaptación de los cultivos y su rendimiento (Wallace, 1985; Summerfield *et al.*, 1991). Siendo la temperatura el principal factor ambiental que controla la respuesta del desarrollo especialmente, en las variedades que requieren acumular un número de horas frío para pasar del periodo vegetativo al reproductivo. Sin embargo el genotipo, disponibilidad de agua, fotoperiodo y nutrientes minerales son importantes. Se han propuesto distintos modelos teóricos que expresan el desarrollo del haba como función de diversos parámetros ambientales (Boote *et al.*, 2002; Turpin *et al.*, 2003)

Existen numerosos estudios que hacen referencia a la temperatura base (T_b) y a la temperatura óptima (T_{op}) para el desarrollo vegetativo y reproductivo en haba, las cuales se correlacionan altamente con el rendimiento. Entendiéndose por T_b aquella donde se activan los procesos metabólicos para iniciar el desarrollo y T_{op} como el punto o intervalo en el que la fotosíntesis neta es máxima. Qi *et al.* (1999) reporta una T_b entre 0 y 1 °C durante la emergencia de la plántula. Mientras que Manschadi *et al.* (1988) utilizó como T_b (de germinación a emergencia) 1.5 °C. Ellis *et al.* (1987) utilizaron una temperatura base menor siendo de -4.0 y -7.5 °C para el cultivar Aquadulce y Sutton, respectivamente, mientras que la T_{op} durante la germinación fue de 21 y 25 °C. En diferentes genotipos Ellis *et al.* (1988a) encontró una T_{op} media de 23 °C durante la etapa de germinación. Saxena (1982) reporta que temperaturas menores a 10 °C incrementa los días a emergencia.

La tasa de emergencia y de floración varía entre genotipos con un rango de 19.9–26.5 °C y de 19.9–25.4 °C, respectivamente (Ellis *et al.*, 1988a). McDonald *et al.* (1994) y Ellis *et al.* (1988b) mencionan una T_b y T_{op} para el desarrollo vegetativo de 0 °C y 23 °C. Cuando la T_b y T_{op} fueron de 0 y 27 °C, respectivamente, Boote *et al.* (2002)

reportan un incremento en la tasa de desarrollo en genotipos de haba. Por otra parte, para el desarrollo de nudos Evans (1959) sugiere que la T_{op} sea de 23 °C con un descenso cuando esta se incrementa en 3 °C. Herdina y Silsbury (1989), encontraron que el cuarto nudo se apareció a los 25, 18 y 15 días con temperaturas de 10, 15 y 20 °C, respectivamente. El tiempo transcurrido entre la aparición visual de dos hojas consecutivas se denomina filocrono y su inversa es la tasa de aparición foliar (Dale y Milthorpe, 1981). Pichardo (2005), observó que en haba, el número de hojas emergidas en el tallo principal mantenían una relación cúbica a través del tiempo, mencionando que se presenta un máximo a los 90 días después de la siembra para después descender por senescencia foliar. Qi *et al.* (1999) mencionan una temperatura base en la tasa de aparición foliar de 1.5 °C, siendo la expansión de la hoja menor con temperaturas superiores a 25 °C disminuyendo el área foliar, tasa de asimilación neta (Auld *et al.* 1978) e incrementándose la tasa de senescencia (Finch-Savage y Elston, 1982) debido a la mayor respiración (Auld *et al.* 1978), menor contenido de clorofila principalmente en las primeras hojas (Auld *et al.*, 1978) y menor transporte de nutrimentos, disminuyendo el ciclo del cultivo (Evans, 1959). La radiación solar y déficit de presión de vapor tienen efectos similares (Finch-Savage y Elston, 1982). Saxena (1982) encontró la máxima fotosíntesis a los 25 °C disminuyendo en un 20% cuando superaba los 30 °C. Dennett *et al.* (1978), al comparar el efecto de la temperatura (mínima, media y máxima) encontró que la tasa relativa de aparición foliar y tasa relativa de crecimiento se relaciona más con la temperatura máxima que con la mínima y media. Auld *et al.* (1978) menciona el crecimiento de la hoja, tasa de producción, disminuye cuando se pasa de 14 a 24 °C. La floración y madurez en haba esta controlada por el fotoperiodo y temperatura. Sin embargo la información sobre la T_b y la T_{op} en la tasa de progreso de anthesis y la madurez es limitada. Una T_b de 0 °C es propuesta para el desarrollo reproductivo ya que se puede considerar igual que para el proceso vegetativo (Stutzel, 1995, Manschadi *et al.*, 1998). Evans (1959) encontró una T_{op} de 22 °C en la etapa de desarrollo floral en el cultivar French y de 17 °C para Bullock. El rango de T_{op} fue de 20 °C para haba cv Pirhonen y 24° C para cv Primus (Skjelvag, 1981). Estudios sobre la T_b y T_{op} para la adición de vainas y crecimiento de semilla en haba son limitados. Turpin *et al.* (2003) utilizaron una T_b , T_{op} y T_{max} de 7,

19 y 36 °C, respectivamente, para la adición de vainas y de 6, 18 y 36 °C, para la tasa de crecimiento de la semilla. Herdina y Silsbury (1989), en siembras tempranas encontraron que el crecimiento inicial de la plántula y de los nódulos fue pobre debido a la baja temperatura (10 °C). En contraste en siembras tardías (15 °C) el rendimiento fue más alto por una mayor nodulación.

La universalidad de las respuestas a la temperatura permite considerar la duración del ciclo de los cultivos (y de sus etapas) en unidades que ponderan el tiempo calendario por la temperatura a que las plantas han estado creciendo. Estas unidades se conocen como tiempo térmico (TT) y tiene unidades en grados-día (°Cd) (*Monteith, 1977*).

Pichardo *et al.* (2007), con una temperatura base de 8 °C encontraron en los cultivares San Pedro y Cochinera Montecillo una acumulación de unidades calor de 768, 880, 1176 y 1697 °Cd para la aparición de botones florales, floración, desarrollo de vainas e inicio de la madurez fisiológica. Con una acumulación total de emergencia a madurez fisiológica de 1870 °Cd. Morales (2007), en los cultivares Diamante y Cochinera Montecillo reportan 725, 1592, 1718 °Cd para inicio de floración, inicio de madurez fisiológica y cosecha, respectivamente. Solórzano (1993), encontró en 57 accesiones colectadas en los Valles Altos de México una acumulación promedio de 3470 °Cd de siembra a cosecha. Loss *et al.* (1993), de siembra a inicio de floración reportan 993 °Cd. Turpin *et al.* (2003) menciona que de emergencia a floración se necesita un tiempo termal entre 138 °Cd y 818 °Cd, las variaciones estarán en función del fotoperiodo. Además, estudiando 25 observaciones, concluyen que de floración a madurez se requieren entre 500 y 1500 °Cd, hace referencia que hay una disminución en el tiempo térmico después de la floración sugiriendo que la longitud del día tiene influencia. Manschadi *et al.* (1998) en el cultivar French observaron una acumulación de 140 °Cd para la emergencia y de 1100 °Cd para antesis. Plancquaert y Girard (1987) encontraron que de antesis a madurez se requieren 1535 °Cd. Olivera (1995), reporta entre 1078 a 1148 °Cd para el cultivar Almeda, mientras que Turpin *et al.* (2003) de 1500 °Cd. Stutzel (1995a) menciona de antesis a inicio de llenado de grano una acumulación de 200 °Cd.

1.6.2. Efecto de la longitud del día

La longitud del día es el segundo factor de importancia que regula algunos procesos fisiológicos y morfológicos de las plantas (Wareing y Phillips, 1978). El estímulo fotoperiódico (duración del día) es percibido por las hojas y transmitido al ápice de crecimiento por lo que las plantas de distintos cultivos podrían percibir dicho estímulo desde el momento de la emergencia (Evans, 1987). La respuesta fotoperiódica, en general, depende de cada especie. El haba es una planta cuantitativamente de día largo aunque hay pocos datos documentados de los requerimientos o sensibilidad de la duración del día. Ellis *et al.* (1988b) encontraron un menor tiempo a floración con 16 h en comparación con 10 y 13 h. Aunque siempre estará en función de la sensibilidad del genotipo utilizado. Por ejemplo Evans (1959), encontró diferencias en el tiempo a floración en diferentes cultivares de haba, sin embargo, en todos los cultivares fue menor cuando se incrementó la duración del día (de 8 a 24 h). Resultados similares encontró Stutzel (1995a, 1995b); Turpin *et al.* (2003) y Plancquaert y Girard (1987), quienes mencionan que la antesis se aceleró por días largos, sin embargo después de ésta es insensible. Turpin *et al.* (2003), sugiere que es importante considerar el fotoperiodo base y el fotoperiodo crítico para el periodo reproductivo (floración y llenado de grano), siendo para haba de 12.5 y 14.0 h, respectivamente.

Sin embargo, la duración del día no solo desencadena cambios cualitativos sino también cuantitativos. Una respuesta cuantitativa asume cambios graduales mayores o menores de acuerdo a la sensibilidad fotoperiódica (Satorre *et al.*, 2003). Auld *et al.* (1978) encontraron que la materia seca del vástago se incrementa por altas irradiancias ($1116 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), siendo una de las causas el cambio en la morfología de la hoja ya que se producen cambios en el área foliar específica (AFE), área foliar (AF) y peso foliar específico (PFE, $\text{PFE} = 1/\text{AFE}$), así como un incremento en el peso de raíz y tallo.

1.6.3. Efecto del régimen hídrico

El crecimiento y rendimiento de los cultivos es significativamente dependiente de la disponibilidad hídrica, ya que su déficit provoca mermas en la producción de magnitud variable según el momento del ciclo en que se produce. Las mayores reducciones de rendimiento se asocian a deficiencias que ocurren a la siembra y en las etapas en que se definen los componentes que determinan el rendimiento.

En haba el estrés de agua produce un cambio en el balance hormonal (Davies, 1978), especialmente incrementa la concentración de ácido abscísico y etileno, induciendo el cierre de estomas (Döffling *et al.*, 1980; Nerkar *et al.*, 1981) y caída de las hojas (El-Beltagy y Hall, 1974). El cierre de estomas puede impedir el intercambio gaseoso e inhibir la transpiración (Younes *et al.*, 1977) y por lo tanto proporciona limitaciones en la tasa de fotosíntesis (Day y Legg, 1983) afectando la tasa de asimilación neta (TAN) (Müller *et al.*, 1986). En la hoja reduce la concentración de pigmentos fotosintéticos afectando la eficiencia fotosintética (Moursi *et al.*, 1978). Aunque el crecimiento radical se incrementa, particularmente en profundidad (El-Nadi *et al.*, 1969; Husain *et al.*, 1990), el número de nódulos y la fijación de nitrógeno es menor (Sprent y Bradford, 1977). Se ha comprobado que la actividad de las bacterias en la raíz se debe al menor suministro de fotosintatos (Sprent, 1972; Lawrie y Wheeler, 1975). Pankhurst y Sprent (1976) sugieren que la disponibilidad de oxígeno (O_2) puede asociarse con la poca fijación de N. Recientemente se ha observado que las células corticales nodulares pueden aparecer densamente compactadas durante el estrés de agua, lo cual disminuye la difusión de O_2 hacia el tejido central de los nódulos (Guérin *et al.*, 1990).

Además durante el inicio del ciclo provoca que el dosel vegetal sea erectófilo (menor ángulo de inserción de las hojas con respecto al tallo) (Turner, 1986), presentando una reducción en el valor de k (coeficiente de extinción) (Ridao *et al.*, 1996), así como una menor tasa de aparición foliar (Farah, 1981), número de hojas (Karamanos, 1978), tasa de expansión foliar (Elston *et al.*, 1978; Dennett *et al.*, 1979), índice (Ridaa *et al.*, 1996) y duración del área foliar (Elston *et al.*, 1978; Farah, 1981). Karamanos (1978) y Green

et al. (1985) mencionan que la tasa de expansión foliar es más sensible que la tasa de aparición foliar. De igual forma, por un desbalance hormonal se incrementa la abscisión foliar (Finch-Savage y Elston, 1976) y la tasa de senescencia (Finch-Savage y Elston, 1982; Brady *et al.*, 1974) y en consecuencia disminuye la radiación fotosintéticamente activa interceptada (Ridao *et al.*, 1996; Turner, 1986; Green *et al.*, 1985) y la eficiencia en el uso de la radiación (g MJ^{-1}) (Ridao *et al.*, 1996; Green *et al.*, 1985).

Sprent *et al.* (1977) y Husain *et al.* (1990) encontraron que la variación en la altura de la planta se relacionó con diferencias en el contenido de humedad en el suelo. Grashoff (1991), reporta que la sequía en el estado vegetativo, estimula un temprano crecimiento reproductivo y que un suministro de agua durante y después de la floración, es crucial para respuestas altas y estables en rendimiento de grano. Sin embargo Rowland *et al.* (1983) mencionan que bajo estrés hídrico, el haba presenta un mayor porcentaje de óvulos y vainas fecundadas, en comparación con aquellas con un suministro de agua adecuado; esto es debido a que en éstas últimas hay una mayor demanda de asimilados para el crecimiento, aunque la mayoría de las vainas o semillas abortan, dependiendo de la variedad y la posición de la flor (Rowland y Bond, 1983; Rowland *et al.*, 1984). Xia (1994), reporta una disminución de hasta el 45% en el rendimiento y 60% en la materia seca (Goudriaan y Bijlsma, 1987), afectando el índice de cosecha (IC) (Green *et al.*, 1985).

1.6.4. Efecto sobre el rendimiento y distribución entre sus componentes

La producción de grano en haba es muy sensible a la temperatura alta y estrés hídrico en floración. La temperatura óptima para el crecimiento de la planta oscila entre 10 y 30° C (Sexena, 1979). Durante los meses fríos las temperaturas son sub-óptimas por lo que pueden causar daño en el cultivo, particularmente en la floración, principalmente si las temperaturas son menores a 0 °C (Sexena *et al.*, 1981). El incremento de la temperatura en la primavera (mayor a la óptima) puede disminuir el rendimiento por estimular la caída de flores y vainas jóvenes, además de acortar la etapa reproductiva. En Europa y Australia, Pilbeam *et al.* (1989) y Adisarwanto y Knight (1997), apreciaron

en las siembras tardías una reducción en el rendimiento directamente relacionado a las elevadas temperaturas en el periodo de floración. En clima Mediterráneo Thomson *et al.* (1997), menciona que el rendimiento se incrementa cuando las temperaturas en el periodo reproductivo son más bajas que en el vegetativo. Chavez y De Leon (2004), mencionan que el rendimiento en siembras tempranas se afectó principalmente por la incidencia de enfermedades de la raíz y tallo (*Fusarium* sp y *Rhizoctonia* sp) provocadas por el exceso de humedad.

Bozoglu *et al.* (2002) en una serie de experimentos realizados durante 3 años (1998, 1999 y 2000) consecutivos para conocer el rendimiento de diferentes cultivares y líneas de habas encontraron que en el tercer año se presentó un incremento en la temperatura después del inicio de la floración, en relación a los dos primeros, acortando el periodo de floración a llenado de grano. Además se presentó una disminución en el rendimiento en promedio de 25%, asociado a una menor longitud y número de vainas por planta, aunque el ancho y diámetro de las mismas se incrementó.

Con el objetivo de estimar la capacidad y estabilidad del rendimiento de haba se realizaron una serie de experimentos (durante 3 años) en 12 localidades del oeste de Europa. En todos los ambientes y años se encontraron diferencias en el rendimiento y acumulación de biomasa, concluyendo que los factores climáticos que más se asociaron fueron la precipitación, temperatura y radiación solar, siendo el agua el factor más determinante ya que además depende de otros factores como el tipo de suelo y el movimiento del agua en el sistema suelo-planta. Un periodo de sequía después de la floración (3–5 semanas), especialmente acompañada de un incremento de la radiación solar y la temperatura, afecta directamente en el número de vainas por planta, resultando en una disminución drástica en el rendimiento. Esto se asocia principalmente a una pérdida de botones florales y/o aborto en el desarrollo del fruto y semilla (Dantuma, 1982).

Loos y Siddique (1997), con el fin de evaluar el ambiente sobre la producción de haba, evaluaron diferentes fechas de siembra encontrando que en siembras tempranas (mayo) las plantas son más vigorosas con mayor rendimiento, materia seca, índice de cosecha, vainas y semillas por m^2 cuando la precipitación es suficiente y las temperaturas son más bajas. Por ejemplo, en el cultivar Fiord la antesis osciló entre 63–90 días después de la siembra, y por lo tanto el llenado de semilla se completó antes del inicio del periodo cálido y estrés por humedad.

Sau y Mínguez (2000) mencionan que con riego se incrementa el rendimiento en 66%. Además de que el peso y número de semillas m^2 se reducen significativamente por déficit de agua. Sin embargo, se incrementan por una radiación alta.

Pilbeam *et al.* (1989) realizaron un estudio con dos variedades de haba Alfred y Ticol en 1986 y 1987. El ambiente influyó en la producción de biomasa, rendimiento e índice de cosecha. En 1987, la precipitación fue mayor que el año anterior promoviendo un incremento en la altura de la planta y por lo tanto la acumulación de biomasa fue mayor, sin embargo el rendimiento no se incrementó y el índice de cosecha fue menor. Durante 1986 se presentó un menor crecimiento de la planta atribuido al estrés hídrico en la etapa vegetativa, sin embargo para la etapa reproductiva las lluvias fueron altas, promoviendo la formación de vainas. Caso contrario ocurrió en 1987. La distribución de la precipitación pluvial durante el ciclo del cultivo puede limitar la actividad polinizadora (Scriven *et al.*, 1961) y resultar en una pobre polinización y cuajado de vainas (Free y Williams, 1976). Siddique *et al.* (1993) trabajando con diferentes experimentos de campo durante 1991 y 1992 en 13 localidades de Australia para conocer el rendimiento de haba encontrando que presenta un gran potencial para crecer y desarrollarse en suelos de neutros a alcalinos (7.2–8.1). Durante 1991 y 1992 se presentó una precipitación durante el ciclo del cultivo (mayo–octubre) de 211 y 333 mm, respectivamente, por lo que el haba respondió positivamente al incrementarse las lluvias ya que el rendimiento fue de 1.22 y 2.87 $ton\ ha^{-1}$. El mayor rendimiento se debió a que en promedio existió un mayor número de vainas por planta, semillas por vaina y peso de semilla.

Loss *et al.* (1998), para evaluar diferentes zonas agroecológicas establecieron experimentos de haba cv Fiord en seis localidades de Australia diferenciándose principalmente en la precipitación y reacción del suelo (pH), encontrando que la menor acumulación de biomasa (g m^{-2}) ocurrió en Frankland donde la precipitación fue mayor (446 mm) este comportamiento se atribuye a que el pH del suelo fue extremadamente ácido (4.7). La mayor biomasa (880 g m^{-2}) se encontró en Northam con una precipitación de 368 mm y un pH de 5.5, sin embargo, el mayor rendimiento (3571 kg ha^{-1}) se encontró en la localidad Merredin con una precipitación de 300 mm y un pH casi neutro (7.5) este incremento se debió a un mayor índice de cosecha (46%), vainas por planta (10.8) y por m^2 (607). Los autores concluyen que el principal factor limitante para la producción de haba es la precipitación pero en este caso hay que tomar en consideración el pH del suelo.

En resumen el haba se adapta desde climas templados a semiáridos. La temperatura base del cultivo oscila entre 0 y $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$, una temperatura óptima en emergencia de 21 a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, temperaturas menores a $10 \text{ }^\circ\text{C}$ incrementan los días a emergencia. En el periodo vegetativo la temperatura base y óptima es de 0 a $23 \text{ }^\circ\text{C}$ y en el periodo reproductivo la temperatura óptima es de $19 \text{ }^\circ\text{C}$. La temperatura mayor a $33 \text{ }^\circ\text{C}$ durante la floración provoca caída de flores e impide el desarrollo de la semilla. Los grados días desarrollo que requiere el cultivo durante su ciclo son de $2350 \text{ }^\circ\text{Cd}$. El haba es una planta cuantitativamente de día largo. El fotoperiodo base y crítico para el periodo reproductivo es de 12.5 y 14.0 h. respectivamente. Requiere de entre 300 y 400 mm de precipitación, mínimos para asegurar la producción con un óptimo de 700 mm. Sin embargo se debe considerar la distribución de lluvias durante el ciclo de cultivo, debe haber aproximadamente el 65% en el periodo reproductivo. Un periodo de sequía después de la floración afecta directamente el número de vainas. Los suelos profundos, fértiles y bien drenados son esenciales para un buen rendimiento. La textura óptima es media como los suelos francos, franco-arenosos y franco-arcillosos. El cultivo requiere de suelos de mediada profundidad entre 25 a 35 cm. El pH óptimo es entre 7.2, menor a 5 disminuye considerablemente la producción de semilla. El desarrollo adecuado del

cultivo se da en suelos sin problemas de salinidad ($1.1\text{--}1.7 \text{ dS m}^{-1}$), aunque puede llegar a tolerar ligeramente la salinidad.

II. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. Localización del área de estudio

El estudio se realizó durante la primavera de 2006 bajo condiciones de temporal en tres localidades del altiplano Mexicano (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ubicación y clima de las localidades bajo estudio

Localidad	Municipio	Estado	Coordenadas geográficas			Clima	
			Latitud ----N----	Longitud ----O----	Altitud -msnm-	----Tipo----	-----Descripción-----
Montecillo	Texcoco	México	19°29'	98° 53'	2250	BS1	Menos seco de los áridos con lluvias en verano.
San Pablo Ixayoc	Texcoco	México	19° 33'	98° 47'	2800	C (w ₀) (w)	Templado subhúmedo con lluvias en verano el más seco de los subhúmedos.
Ciudad Serdán	Chalchicomula de Sesma	Puebla	18° 59'	97° 26'	2278	C (w ₂) (w)	Templado subhúmedo con lluvias en verano el más húmedo de los subhúmedos.

Fuente: (García ,2005)

Los datos termopluviométricos correspondientes a la serie 1970 – 2000 en los diferentes lugares de estudio se presentan en el Cuadro 2, fueron proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2007) y el Colegio de Postgraduados. Cabe señalar que las variables meteorológicas de Montecillo corresponden de 1982 – 2006.

Se puede observar que la temperatura promedio anual más baja se registra en Ciudad Serdán con 14 °C, debido a que la temperatura máxima anual no supera los 22 °C. La temperatura mínima más baja se encuentra en Montecillo con 5 °C, siendo los meses más fríos diciembre y enero con una temperatura menor a 0 °C. La mayor precipitación se registra en Ciudad Serdán (735 mm), siendo el periodo de crecimiento húmedo de abril a octubre, en contraste en las localidades restantes solo es de mayo – octubre.

Cuadro 2. Normales climáticas de las estaciones más cercanas a las localidades de estudio.

Montecillo	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Tmin (°C)	-0.8	0.5	2.7	5.4	7.1	9.5	8.9	9.0	8.8	5.7	2.0	-0.1	4.9
Tmax (°C)	25.7	27.1	29.3	30.3	30.6	29.4	28.0	27.7	26.9	26.7	26.5	25.3	27.8
Tmed (°C)	11.9	13.3	15.4	17.1	18.2	18.7	17.8	17.5	17.1	15.5	13.6	11.9	15.7
HBS	8.1	8.6	8.7	8.4	8.4	6.6	6.5	6.4	5.9	6.9	7.9	7.9	7.5
RGT (MJ m ⁻²)	382.1	411.9	359.2	435.2	461.3	416.6	410.0	407.1	395.6	330.1	329.3	326.1	4664.5
PT (mm)	14.0	12.4	18.7	33.8	51.2	97.8	110.6	101.7	83.0	44.3	17.1	9.1	593.7
ET (mm)	118.1	139.3	185.8	186.5	180.5	138.4	118.6	116.6	107.3	111.0	106.0	106.1	1613.9
HR (%)	60.0	57.8	54.8	55.8	60.2	65.7	69.0	69.9	69.7	67.2	63.2	62.0	62.9
San Pablo	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Tmin (°C)	3.7	4.7	6.6	8.4	9.6	9.8	9.1	9.1	9.3	7.7	5.5	4.7	7.4
Tmax (°C)	20.3	21.4	23.8	25	25.3	23	21.4	21.2	21	21.2	20.8	20.2	22.1
Tmed (°C)	12	13	15.2	16.7	17.4	16.4	15.3	15.1	15.1	14.4	13.1	12.4	14.7
PT (mm)	10.1	7	11.5	27.2	55.9	113.9	115	103.5	100.2	51.8	8.5	4.9	609.5
ET (mm)	145.2	158.9	206.9	216.4	194.2	158.1	124.4	126.5	121	133.1	130.7	129.5	1844.9
Ciudad Serdán	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Tmin (°C)	2.6	4.5	6.9	7.8	8.4	7.5	7.3	7.3	7	5.9	4.1	2.6	6
Tmax (°C)	19.2	20.1	23.5	25.1	25.6	22.5	22.6	22.4	21.4	21	20.3	19.5	21.9
Tmed (°C)	10.4	12.3	15.2	16.4	17	15	15	14.8	14.2	13.5	12.2	11	14
PT (mm)	5.2	11.4	17	41.8	106.6	150.5	111.8	104.8	130.5	43	10.8	2.2	735.6
ET (mm)	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Tmin: temperatura mínima, Tmax: temperatura máxima, Tmed: temperatura media, HBS: horas brillo sol, RGT: radiación global total, PT: precipitación total, ET: evapotranspiración total, HR: humedad relativa.

2.2. Material vegetal

El material vegetal estudiado es un grupo de 15 cultivares de haba (2 locales y 13 introducidos). Siete son procedentes de investigaciones realizadas en el Estado de México (Banco de Germoplasma de Ecofisiología de Cultivos “Colegio de Postgraduados”) y las restantes del Estado de Puebla (Cuadro 3). Como principales características morfológicas de los cultivares se indica, color de flor y tamaño y color de la semilla. El peso de la semilla menor a 700 mg corresponde a semillas de tamaño pequeño (*minor*), de 700 a 1100 mg de tamaño mediano (*equina*) y por encima 1200 mg de tamaño grande (*major*).

Cochinera Montecillo y Pico de Orizaba son utilizadas en la agricultura local, el primero en Montecillo y San Pablo y el último en Cd. Serdán. Por la disponibilidad de semilla Pico de Orizaba se sembró solo en Cd. Serdan y Juchitepec en Montecillo y San Pablo.

Cuadro 3. Características morfológicas de planta y semilla de los diferentes cultivares de haba evaluados.

Cultivar	-----Días a-----		Color de Flor	Altura -----cm-----	Peso semilla -----gr-----	Color semilla
	Floración	Madurez				
Tarragona Amarilla 1	67 – 92	146 – 204	Blanca	90 – 144	1.63	Amarillo claro
Tarragona Amarilla 2	72 – 120	143 – 225	Blanca	91 – 155	1.70	Amarillo claro
Tarragona Amarilla 3	66 – 100	145 – 233	Blanca	140 – 150	1.52	Amarillo claro
Parraleña	72 – 101	152 – 235	Blanca	80 – 150	1.54	Pardo claro
Blanca	79 – 103	144 – 234	Blanca	100 – 140	1.47	Amarillo claro
Pico de Orizaba [¶]	90 – 109	200 – 223	Blanca	120 – 130	1.99	Amarillo opaco
Juchitepec	71 – 78	139 – 178	Blanca	90 – 150	1.30	Amarillo opaco
Cochinera Morada	74 – 111	154 – 239	Blanca	90 – 150	1.41	Morada
Cochinera Montecillo [¶]	71 – 98	140 – 203	Blanca	80 – 120	1.04	Amarillo opaco
San Pedro	75 – 89	149 – 224	Blanca	80 – 130	1.54	Amarillo opaco
San Isidro	80 – 126	146 – 216	Blanca	60 – 110	1.06	Amarillo opaco
Monarca	73 – 105	148 – 230	Blanca	90 – 130	1.34	Pardo oscuro
Diamante	74 – 94	153 – 234	Blanca	90 – 150	1.34	Amarillo opaco
V-31	72 – 84	134 – 214	Blanca	80 – 140	1.32	Amarillo opaco
V-35	74 – 84	134 – 223	Blanca	90 – 135	1.36	Amarillo opaco

Fuente: Datos propios, [¶]Cultivares locales

2.3. Dimensiones del experimento

En cada ensayo el experimento fue de 56 unidades experimentales de 4 m x 3 m (cinco surcos de 3 m de largo a una distancia de 80 cm). Se tomo como parcela útil los tres surcos centrales (para la evaluación de producción de vaina en fresco se tomo un surco y para grano seco dos surcos).

2.4. Manejo del cultivo

Una vez preparado el terreno, el 26 de mayo, 29 de mayo y 30 de marzo en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente, se realizó la siembra de los cultivares de haba en forma manual depositando dos semillas por mata con la finalidad de asegurar la emergencia, después de la emergencia se realizó el aclareo a una planta, lo que generó una densidad de 4.2 plantas m⁻² (80 x 30 cm). Se fertilizó con 132 kg N ha⁻¹ y 33 kg ha⁻¹ de P₂O₅, teniendo como fuente urea y superfosfato de calcio triple, respectivamente. La mitad del N y todo el fósforo se aplicaron al momento de la siembra y el fertilizante restante 40 días después (Pichardo, 2005).

2.5. Elementos del clima

Para conocer las condiciones climáticas del medio, se registró durante el desarrollo del cultivo la temperatura máxima, mínima (promedio decenal) y precipitación (suma decenal). En las localidades donde la disponibilidad de datos nos permitió, se registró la radiación global y la evaporación, suma decenal.

2.6. Estados de desarrollo (fenología)

Para la determinar las etapas fenológicas se tomaron como referencia la fenología para frijol y soya, descrita por Escalante y Kohashi, (1993) y Fehr y Caviness (1977), respectivamente, siendo adaptada para haba como se describe en el Cuadro 3. Sin embargo en el presente trabajo solo se determinaron las siguientes fechas:

- Siembra
- Emergencia
- Planta con 5, 10 y 20 hojas compuestas
- Comienzo de la floración (R4)
- Comienzo de la fructificación (R6)
- Plena madurez (R11)

La fecha de emergencia se considero cuando el 70% del número total de semillas presentaban la plúmula fuera de la superficie del suelo.

El comienzo de la floración se registró cuando al menos el 50% de las plantas nacidas tenían una flor abierta.

Cuando el 50% de las plantas tenían al menos una vaina de 2 cm se tomó como inicio de la fructificación.

La plena madurez fisiológica o fin del llenado del grano se consideró cuando en las plantas nacidas el 95% de las vainas presentaban una tonalidad oscura.

Cuadro 4. Estadios fenológicos del cultivo de haba tomadas en este estudio.

ETAPAS VEGETATIVAS			ETAPAS REPRODUCTIVAS		
Estadio	Denominación	Descripción	Estadio	Denominación	Descripción
G0	Germinación	Con suficiente humedad la radícula asoma de la semilla	R1	Botón-floral	La yema terminal forma un diminuto botón floral
VE	Emergencia	La plúmula emerge a la superficie, las primeras hojas no se extienden completamente	R2	Formación de la flor	La flor empieza a desarrollarse formando los pétalos que aún están juntos
V1	Un nudo	Primera hoja con dos foliolulos. Los foliolulos superan los 4 cm de longitud	R3	Diferenciación floral	El botón floral se ha diferenciado perfectamente
V2	Dos nudos	Segunda hoja con dos foliolulos	R4	Inicio de floración	Una flor abierta en cualquier nudo del tallo principal
V3	Tres nudos	De acuerdo al genotipo, la hoja puede tener o presentar más de dos foliolulos	R5	Plena floración	Se forma el primer racimo floral con 4 o más flores completamente abiertas
.			R6	Inicio de fructificación	Las primeras flores son de color oscuro. Con una vaina de 20 mm de largo en alguno de los nudos inferiores
.			R7	Plena fructificación	Una vaina de 40 mm de largo en alguno de los nudos inferiores del tallo principal mostrando su color normal (verde). La cavidad de la vaina en la que se desarrollará cada semilla se empieza a distinguir
.			R8	Inicio de llenado de grano	Semilla de 10 mm de largo en una vaina de alguno de los nudos inferiores del tallo principal
.			R9	Máximo tamaño de semilla	La vaina contiene una semilla o más que ocupa toda su cavidad
.			R10	Comienzo de madurez fisiológica	Una vaina normal ubicada en el tallo principal ha alcanzado su color típico de madurez (negro)
Vn	n nudos	N nudos con hojas totalmente desarrolladas. Si ha ocurrido la senescencia de las hojas inferiores considerar las cicatrices para determinar la etapa exacta	R11	Plena madurez fisiológica	Un 95% de la vainas han alcanzado su color típico de madurez y la semilla un color amarillo claro

2.7. Grados días desarrollo (GDD)

Además para cada una de las etapas, se registraron los días transcurridos (D) y los grados-día (GD) acumulados. Este último se determinó por el método residual (Snyder, 1985), el cual utiliza la siguiente relación:

$$GDD = \sum_{i=1}^n \{[(T_{\max} + T_{\min})/2] - T_b\}$$

Donde:

T_{\max} y T_{\min} = Temperatura máxima y mínima diaria, respectivamente.

T_b = Temperatura base del cultivo que para el caso de haba se consideró 0 °C (Qi *et al.*, 1999, Stützel, 1995 a).

2.8. Evapotranspiración real

La evapotranspiración diaria del cultivo se registró solo para dos localidades (Montecillo y San Pablo) mediante la siguiente relación:

$$ET_c = ET_0 * K_c$$

Donde:

ET_0 = evapotranspiración de referencia (mm)

K_c = coeficiente del cultivo de haba que varió de acuerdo al estado de desarrollo (K_c inicial=0.50, K_c mitad=1.15 y K_c final=0.30) (FAO, 2006).

En función de la disponibilidad de datos la evapotranspiración de referencia (ET_0) se estimó en Montecillo mediante el método de Penman-FAO y en San Pablo mediante el método del evaporímetro de cubeta.

Método Penman-FAO:

$$ET_0 = c \left\{ \left[\left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) (Rn) \right] + \left[\left(1 - \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) (e_a - e_d) (0.27 * 1 + U_2 / 100) \right] \right\}$$

Donde:

ET_0 = Evapotranspiración de referencia (mm)

c = coeficiente de corrección

Δ = pendiente de la curva presión de vapor y temperatura (kPa °C⁻¹)

Rn = Radiación neta (mm)

γ = Constante psicrométrica (kPa)

$e_a - e_d$ = Déficit de presión de vapor (kPa)

U_2 = Velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹)

Método evaporímetro:

$$ET_0 = Ev * Ke$$

Donde:

ET_0 = Evapotranspiración de referencia (mm)

Ev = Evaporación del evaporímetro (mm)

Ke = Coeficiente del evaporímetro (0.6)

2.9. Variables morfológicas

Para conocer la dinámica del crecimiento del cultivo se realizaron 4 muestreos destructivos de tres plantas a los 89, 132 y 166 días después de la siembra y el último a la madurez fisiológica. Donde se midió la altura de la planta, número de nudos,

número de foliolulos, área foliar y número de racimos, según los criterios descritos por Pichardo (2005).

2.10. Eficiencia agronómica en el uso del agua y de la precipitación

La eficiencia del uso del agua ya sea para biomasa total o el rendimiento de semilla en Montecillo y San Pablo se calculó mediante la ecuación propuesta por Sinclair *et al.* (1984):

$$EUA = \frac{BT \text{ o } RS}{ETc}$$

Donde:

EUA = Eficiencia en el uso del agua (g mm^{-1}).

BT = Biomasa total (g m^{-2}).

RS = Rendimiento de semilla (g m^{-2}).

ETc = Evapotranspiración real (mm).

En las tres localidades se estimó la eficiencia en el uso de la precipitación (EUP), sustituyendo de la formula anterior la ETc por la precipitación total (mm) (Escalante, 2001).

2.11. Eficiencia en el uso de la radiación

La eficiencia en el uso de la radiación solo se estimó para Montecillo mediante la siguiente ecuación:

$$EUR = \frac{BT \text{ o } RS}{RFA}$$

Donde:

EUR = Eficiencia en el uso de la radiación (g MJ^{-1}).

BT = Biomasa total (g m^{-2}).

RS = Rendimiento de semilla (g m^{-2}).

RFA = Radiación fotosintéticamente activa durante el ciclo de cultivo (MJ m^{-2}).

2.12. Variables estudiadas en experimentos individuales

2.12.1. Rendimiento de vaina verde o legumbre

De cada unidad experimental (12 m^2) se registró el peso de la vaina en fresco (g m^{-2}) recolectando 2.4 m^2 (1 surco de 3 m) con tres cortes en función de la fenología de cada cultivar. Posteriormente se hará referencia como rendimiento de vaina (RV). Además se registró el número de vainas (m^2 , NV), longitud (cm, LV), anchura (mm, AV) y tamaño de la vaina (g, PV) (promedio del NV).

2.12.2. Materia seca total y su distribución en los diferentes órganos de la planta

En plantas donde no se realizaron cortes de vaina verde se determinó a la madurez fisiológica (cosecha final) la materia seca total. Cada estructura de la planta (hojas, tallos, pericarpio y semilla) se sometieron a un secado, en una estufa con circulación de aire forzado a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ por un lapso de 72 h.

2.12.3. Índice de cosecha, rendimiento de grano seco y sus componentes

A la madurez fisiológica en plantas sin corte de vaina verde se registró:

1. Índice de cosecha (IC): El IC nos indica la cantidad de materia seca acumulada en la semilla en relación a la materia seca total, determinándose por la siguiente ecuación:

$$IC = \frac{\text{Ren de semilla}}{\text{Bimasa total}}$$

2. Rendimiento de semilla (RS): peso seco de la semilla (g m^{-2}) de dos surcos centrales (10% de humedad).
3. Componentes del rendimiento:
 - a) Número de vainas normales por m^2 : Se tomaron como vainas normales todas aquellas que tuvieron más de 4 cm de longitud y al menos una semilla normal.
 - b) Número de semillas por m^2 : se contabilizaron aquellas que ocurren en las vainas normales y que presentaron características de desarrollo completo.
 - c) Peso de 30 semillas (g): se determinó dividiendo el peso de 30 semillas normales entre el número de las mismas.

2.13. Variables para interacción genotipo x ambiente

Las variables que se tomaron para el análisis de varianza y el análisis de la interacción genotipo x ambiente (IGA) son:

Rendimiento de semilla: Peso de la semilla recolectada a humedad constante expresado por unidad de superficie (g m^{-2}).

Biomasa total: Peso de la semilla y resto de la planta (g m^{-2}).

Numero de vainas y semillas: Número de vainas y semillas totales por m^2

Peso de semilla: Peso de 30 semillas (g)

Índice de cosecha: (%)

2.14. Análisis estadísticos

Se realizó un análisis de varianza por experimento, así como un análisis de varianza combinado para el rendimiento de semilla (RS), biomasa total (BT), número de vainas (NV), número de semillas (NS), peso de treinta semillas (P30S) e índice de cosecha (IC).

2.14.1. Análisis de varianza por localidad

El análisis de varianza de los experimentos individuales fue bajo el diseño experimental de bloques completos al azar y cuatro repeticiones. El modelo fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + r_j + \xi_{ij}$$

Donde:

Y_{ijk} = valor fenotípico del genotipo i-ésimo de la j-ésima repetición.

μ = media general.

g_i = efecto del genotipo i-ésimo ($i = 1, 2, \dots, g$) en la j-ésima repetición.

r_j = efecto de la j-ésima repetición ($j = 1, 2, \dots, r$).

ξ_{ijk} = error experimental.

2.14.2. Análisis de varianza combinado

Para detectar la variación entre genotipos, ambientes y la magnitud de la IGA se realizó un análisis de varianza combinado mediante el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + a_j + (ga)_{ij} + r_{jk} + \xi_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = valor fenotípico del genotipo i-ésimo en la k-ésima repetición del j-ésimo ambiente.

μ = media total de todas las observaciones, genotipos y ambientes.

g_i = efecto aditivo del genotipo i-ésimo ($i = 1, 2, \dots, g$)

a_j = efecto aditivo del ambiente j-ésimo ($j = 1, 2, \dots, a$)

$(ga)_{ij}$ = interacción GxA del genotipo i-ésimo y del ambiente j-ésimo.

r_{jk} = efecto de la observación k-ésimo en el ambiente j-ésimo ($k = 1, 2, \dots, r$)

ξ_{ijk} = variación residual de la observación k-ésimo del genotipo i-ésimo y del ambiente j-ésimo.

2.14.3. Análisis de estabilidad por el método AMMI

Para el análisis de estabilidad del RGS de los cultivares se utilizó el modelo AMMI Biplot GGE-SRGE, que integra el análisis de varianza y el análisis de componentes principales (Zobel *et al.*, 1988; Yan *et al.*, 2000). El modelo matemático es:

$$Y_{ga} = \mu + \alpha_g + \beta_a + \sum \lambda_n \tau_{gn} \delta_{an} + \theta_{ga}$$

Donde:

Y_{ga} = Rendimiento promedio del cultivar o genotipo (g) en al ambiente (a).

μ = media general.

α_g = Efecto de las desviaciones de las medias de los genotipos.

β_a = Efecto de las desviaciones de las medias del ambiente.

λ_n = Autovalor del eje n del análisis de Componentes Principales (CP).

τ_{gn} = Vector propio unitario del genotipo para el eje n.

δ_{an} = Vector propio unitario del ambiente para el eje n.

θ_{ga} = Residual.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Elementos del clima

En la Figura 1A, B y C se observa el comportamiento de los elementos del clima (temperatura máxima, mínima y precipitación) durante el desarrollo del cultivo en Montecillo (mayo–octubre), San Pablo (mayo–noviembre) y Cd. Serdán (marzo–noviembre).

La precipitación total (pp) durante el ciclo del cultivo fue de 397, 506 y 490 mm en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente, de la cual en San Pablo y Cd. Serdán la mayor parte se presentó en la etapa reproductiva mientras que en Montecillo en la vegetativa. Los meses más secos fueron octubre, noviembre y abril y con mayor precipitación; julio, agosto y septiembre en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. Lo anterior se encuentra dentro de los parámetros normales que se registran para cada localidad (Cuadro 2).

La temperatura máxima (Tmax) osciló entre 27–30 °C, siendo Montecillo el de mayor temperatura y presentó un comportamiento estable a través del ciclo, en San Pablo y Cd. Serdán la temperatura tiende a disminuir conforme avanzó el desarrollo del cultivo, aunque en San Pablo se incrementa después de la primera decena de septiembre. Valores similares se registraron en las normales climáticas regionales (Cuadro 2). La temperatura mínima (Tmin) promedio fue cercana a 10 °C en Montecillo y Cd. Serdán, incrementándose por 1 o 2 °C en San Pablo principalmente durante el periodo mayo–agosto (Figura 1A, B y C). Un incremento en la Tmin se registró durante el periodo de crecimiento, en San Pablo, ya que para el periodo 1970-2000 fue en promedio de 8.5 °C (Cuadro 2).

En Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán la Tmax, Tmin y temperatura media (Tmed) durante el periodo siembra – floración (etapa vegetativa) oscilaron entre 28–30 °C, 6–11 °C y 18 – 20 °C, respectivamente, disminuyendo (entre 1 y 3 °C) en la Tmax y aumentando en la Tmin (entre 1 y 2 °C), con excepción de San Pablo durante el periodo floración – madurez (etapa reproductiva). La Tmed al pasar del periodo vegetativo – reproductivo se mantiene constante en Montecillo (18.5 °C) y es más baja en San Pablo (de 20 a 18 °C) y Cd. Serdán (de 18.5 a 17.0 °C) (Cuadro 1 y 2 Apéndice). Durante el ciclo del cultivo, en las tres regiones se presentó una Tmax, Tmin y Tmed que osciló entre 27–30, 7–10 y 17–19 °C, respectivamente

En Montecillo el número de horas luz (HL) fue de 7.0 en el periodo vegetativo, disminuyendo para el reproductivo. Un comportamiento similar presentó la radiación solar (RS) (Cuadro 1 y 2 Apéndice).

3.2. Estados de desarrollo (fenología)

El registro de la fenología a través del tiempo aporta datos interesantes y fáciles de interpretar en el estudio de la adaptación de genotipos a distintos ambientes. En la Figura 2A, B y C se presentan las fechas registradas de los estadios fenológicos: siembra (S), emergencia (VE), planta con 5, 10 y 20 hojas (V5, V10 y V20, respectivamente), inicio de la floración (R4), inicio de la fructificación (R6) y plena madurez (R11) para cada cultivar en los tres ambientes estudiados. Se puede observar una gran variabilidad en cada etapa. Montecillo presentó en promedio el menor tiempo a la R11 con 131 días (Figura 2A), seguido de San Pablo (156) (Figura 2B), siendo Cd. Serdán el más tardío con 210 días (Figura 2C). El menor ciclo en Montecillo fue debido a la menor cantidad de precipitación. Tendencias similares en el ciclo del cultivo reportan Guadarrama *et al.* (2007), Morales (2007) y Pichardo *et al.* (2007) en Montecillo; Escalante y Rodríguez (2002 ab) en San Pablo; y Tornero *et al.* (1993) en Cd. Serdán.

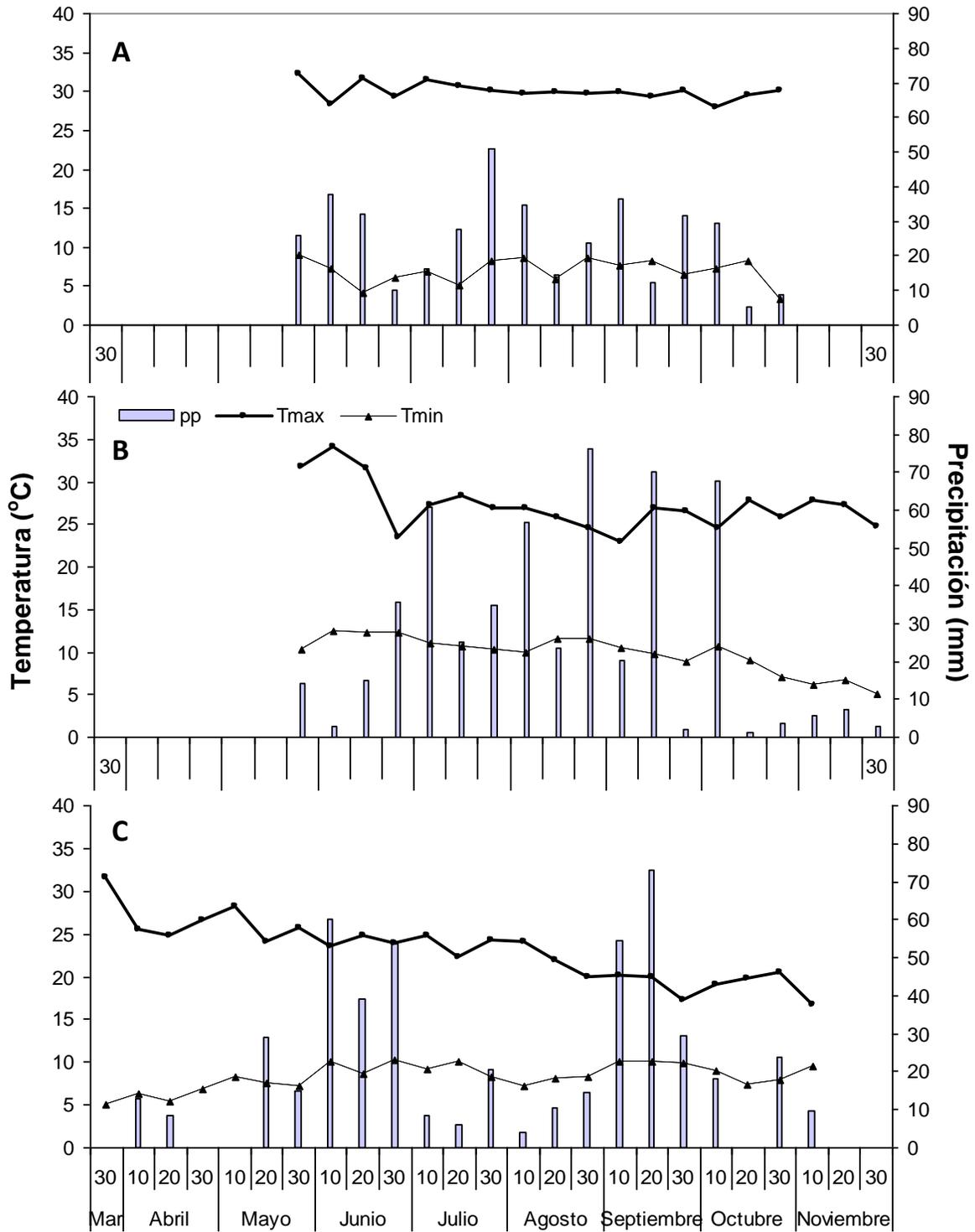


Figura 1. Distribución de la temperatura máxima, mínima (media decenal) y precipitación (suma decenal) durante el ciclo de los cultivos en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2006.

Montecillo y Cd. Serdán presentaron el mismo tiempo a la VE siendo entre 13 y 16 días (Figura 2A y C), un comportamiento similar en Montecillo reportan Guadarrama (2002) y Morales (2006). En San Pablo ocurrió antes presentándose de los 8 a los 11 días (Figura 2B). El tiempo a emergencia en las localidades se relacionó con la temperatura media durante el periodo S-VE, en Montecillo y Cd. Serdán fue menor a 20 °C (18.8 y 15.8 °C, respectivamente) y en San Pablo de 22.3 °C. Ellis *et al.* (1987) indican que la temperatura óptima para emergencia está entre 21 y 25° C. Una temperatura óptima media de 22 °C encontró Ellis *et al.* (1988) en diferentes genotipos de haba. Otro de los factores que pudo influir en la emergencia es la textura del suelo en San Pablo es migajón arenosa, mientras que en Montecillo y Cd. Serdán es arcillosa

En las tres localidades San Isidro fue el cultivar que más tardó en emerger con 16 días en Montecillo y Cd. Serdán; y 11 días en San Pablo (Figura 2A, B y C). Esto podría asociarse a que este cultivar presenta una cubierta seminal más dura. Kantar *et al.* (1996), mencionan los diferentes factores que afectan la absorción de agua en la semilla de haba, siendo uno de ellos la dureza de la testa.

La etapa V5 se presentó primero en San Pablo con 13 días después de la emergencia (dde) en promedio, siendo Tarragona Amarilla 3 y San Pedro el de menor y mayor tiempo respectivamente (9 y 17 dde) (Figura 2B). Montecillo presentó un tiempo a V5 intermedio de 16 dde, oscilando entre 12 (Tarragona Amarilla 1 y 2) a 22 dde (San Isidro) (Figura 2A). Cd. Serdán presentó el mayor tiempo a V5 en promedio 25 días con excepción de San Isidro que se logró hasta los 50 dde (Figura 2C). La V10 en promedio se presentó a los 32, 22 y 53 dde en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. Siendo en las tres localidades el cultivar San Isidro el más tardío a la V10. En Montecillo Tarragona Amarilla 1 y 2, Blanca y Juchitepec presentaron la V20 en promedio a los 38 dde, mientras que los cultivares restantes fue a los 55 días (excepto San Isidro que tardó 82 días). En San Pablo se encontró el menor número días oscilando entre 30 y 52 dde (promedio 34), mientras que en Cd. Serdán el mayor con 78 a 120 dde (San Pedro y San Isidro, respectivamente).

Los días a floración (R4) a partir de la fecha de emergencia fueron de 90 para Cd. Serdán, 27 días más que en Montecillo y San Pablo que presentaron en promedio 63 días (Figura 2A, B y C). Estas diferencias se asocian a la temperatura media de cada localidad. Montecillo en promedio registró una T_{med} durante el periodo S-R4 de 18.5 °C, San Pablo de 19.8 °C y Cd. Serdán de 16.5 °C (Cuadro 1 del Apéndice). Ellis *et al.* (1988 ab) muestran que la temperatura óptima para que ocurra la floración en diversos genotipos de haba es inferior a 28 °C. Ellis *et al.* (1988c) menciona una temperatura óptima para el progreso hacia la floración entre 19.9 y 25.4 °C, retrasándose con temperaturas menores. Miranda (2005), menciona a la temperatura como uno de los principales factores que influyen en la floración en la región de Llanos de Serdán, la temperatura baja retrasa las reacciones que permiten a la planta iniciar la floración. Un tiempo a floración similar en Montecillo (entre 60 y 65 dde), encontraron Guadarrama *et al.* (2007), Morales (2007) y Pichardo *et al.* (2007) en diferentes cultivares de haba. En Montecillo los cultivares V-31, V-35 y Tarragona Amarilla 2 fueron los más precoces a floración, mientras que San Isidro el más tardío con 60 y 68 dde, respectivamente. Tarragona Amarilla 1 y 2 en San Pablo fueron los cultivares de floración temprana con 58 y 57 dde. En contraste San Isidro y Blanca requirieron de 69 y 70 dde. En Cd. Serdán, Tarragona Amarilla 1, San Pedro, Diamante y V-35 fueron cultivares precoces (78–80 días a floración), mientras que Tarragona Amarilla 2 y San Isidro fueron tardíos (105–100 días a floración) (Figura 2A, B y C).

La duración del periodo de floración presentó diferencias en todos los cultivares y ambientes. En general, Cd. Serdán presentó el menor tiempo de floración a aparición de vaina (R6) con 16 días seguido de Montecillo y San Pablo con 23 y 29 días, respectivamente (Figura 2A, B y C). En Montecillo un periodo de R4 a R6 de 25 días (en promedio) reportan Pérez (2001), Guadarrama (2002), Morales (2007) y Pichardo *et al.* (2007) en distintos cultivares de haba. En Montecillo el periodo de floración más largo se encontró en Cochinerá Morada (53 días) y el menor en Tarragona Amarilla 3 y Monarca (8 días). En San Pablo correspondió a Tarragona Amarilla 2 (38 días) y Cochinerá Montecillo (11 días), respectivamente. Mientras que en Cd. Serdán fue San Pedro (32 días) y Parraleña (8 días), respectivamente.

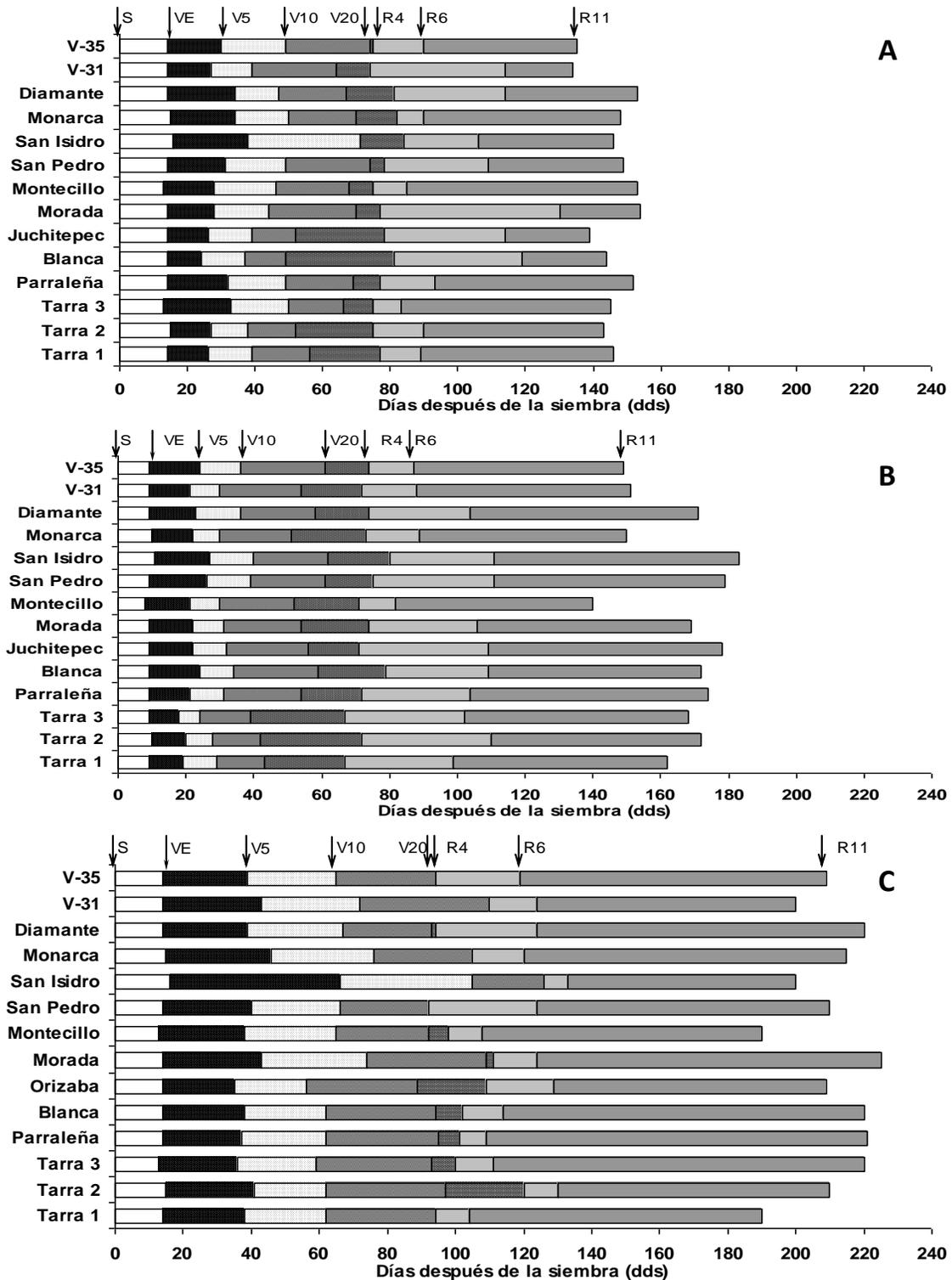


Figura 2. Fenología de diferentes cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2006. S: Siembra, VE: Emergencia, V5: 5 hojas compuestas, V10: 10 hojas compuestas, V20: 20 hojas compuestas, R4: Inicio de la floración, R6: Inicio de la fructificación y R11: Madurez fisiológica.

En Cd. Serdan y Montecillo el cultivar con el mayor ciclo (R11) fue Cochinera Morada con 225 y 140 dde, respectivamente. San Isidro fue el más tardío en San Pablo (172 dde). Los cultivares con menor ciclo de cultivo en Montecillo, San Pablo y Puebla fueron V-31, Cochinera Montecillo y Tarragona Amarilla 1 con 120, 132 y 190 días, respectivamente.

3.3. Grados días desarrollo (GDD)

En los Cuadros 5 y 6 se presentan los grados-día ($^{\circ}\text{Cd}$) acumulados desde la emergencia hasta la plena madurez. En general los valores más bajos y altos se encontraron en Montecillo y Cd. Serdán, respectivamente. En la fase de S-VE, en promedio en Montecillo se encontró una acumulación de 273.3 $^{\circ}\text{Cd}$, presentándose un comportamiento similar en todos los cultivares (Cuadro 5). Una acumulación de unidades calor (UC) menor reportan Morales (2007) y Pichardo *et al.* (2007), esta diferencia se asocia principalmente a la temperatura base más alta (8 $^{\circ}\text{C}$) utilizada por estos autores. Para San Pablo y Cd. Serdán, fue menor con una acumulación de 206.1 y 225 $^{\circ}\text{Cd}$, respectivamente (Cuadro 5). En los tres ambientes el cultivar Montecillo y San Isidro fueron los que necesitaron la más baja y alta acumulación de grados - día, respectivamente. Manschadi (1998) en clima mediterráneo reporta una acumulación de 140 $^{\circ}\text{Cd}$ a emergencia, con una temperatura base de 1.5 $^{\circ}\text{C}$.

En Montecillo se requirieron entre 902.5 y 1817.9 $^{\circ}\text{Cd}$ para V-20, tres cultivares solamente necesitaron menos de 1000 $^{\circ}\text{Cd}$ (Tarragona Amarilla 2, Blanca y Juchitepec) y San Isidro más de 1800 $^{\circ}\text{Cd}$. En promedio para este ambiente se requieren de 1226 $^{\circ}\text{Cd}$ para alcanzar 20 hojas compuestas. En San Pablo la acumulación de tiempo térmico fue menor con 990 $^{\circ}\text{Cd}$, siendo los cultivares Tarragona Amarilla 1, 2 y 3 los que menos necesitaron (en promedio 849 $^{\circ}\text{Cd}$) y de 1246.3 para San Isidro. Cd Serdán presentó una mayor acumulación con 1670 $^{\circ}\text{Cd}$ en promedio siendo Cochinera Montecillo la de menor acumulación de calor (1523 $^{\circ}\text{Cd}$) y San Isidro el de mayor (2239 $^{\circ}\text{Cd}$) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Grados días desarrollo (°Cd) acumulados en la etapa vegetativa en diferentes cultivares de haba, sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán Primavera 2006. Números entre paréntesis son los días después de la siembra (dds).

	VE			V5		
	Montecillo	San Pablo	Cd. Serdán	Montecillo	San Pablo	Cd. Serdán
Tarragona Amarilla 1	271 (14)	201 (9)	224(14)	478 (26)	424 (19)	621 (38)
Tarragona Amarilla 2	287 (15)	225 (10)	238 (15)	499 (27)	447 (20)	678 (41)
Tarragona Amarilla 3	256 (13)	201(9)	207 (13)	602 (33)	405 (18)	589 (36)
Parraleña	271 (14)	201 (9)	223 (14)	584 (32)	469 (21)	606 (37)
Blanca	271 (14)	201 (9)	223 (14)	443 (24)	529 (24)	621 (38)
Pico de Orizaba	-----	-----	224 (14)	-----	-----	541 (35)
Juchitepec	271 (14)	201 (9)	-----	478 (26)	493 (22)	-----
Cochinera. Morada	271 (14)	201 (9)	224 (14)	516 (28)	493 (22)	714 (43)
Cochinera Montecillo	256 (13)	176 (8)	207 (13)	516 (28)	469 (21)	621 (38)
San Pedro	271 (14)	201 (9)	224 (14)	568 (31)	566 (26)	658 (40)
San Isidro	301 (16)	248 (11)	254 (16)	696 (38)	584 (27)	1087 (66)
Monarca	287 (15)	225 (10)	238 (15)	620 (34)	493 (22)	764 (46)
Diamante	271 (14)	201 (9)	224 (14)	620 (34)	513 (23)	608 (39)
V-31	271 (14)	201 (9)	224 (14)	498 (27)	469 (21)	714 (43)
V-35	271 (14)	201 (9)	224 (14)	556 (30)	529 (24)	638 (39)
	V10			V20		
Tarragona Amarilla 1	715 (39)	618 (29)	1017 (62)	1028 (56)	882 (43)	1555 (94)
Tarragona Amarilla 2	699 (38)	600 (28)	1017 (62)	957 (52)	863 (42)	1607 (97)
Tarragona Amarilla 3	920 (50)	529 (24)	963 (59)	1218 (66)	803 (39)	1541 (93)
Parraleña	903 (49)	655 (31)	1017 (62)	1277 (69)	1096 (54)	1573 (95)
Blanca	678 (37)	711 (34)	1017 (62)	903 (49)	1191 (59)	1555 (94)
Pico de Orizaba	-----	-----	914 (56)	-----	-----	1473 (89)
Juchitepec	715 (39)	672 (32)	-----	957 (52)	1133 (56)	
Cochinera. Morada	811 (44)	655 (31)	1220 (74)	1293 (70)	1096 (54)	1810 (109)
Cochinera Montecillo	849 (46)	636 (30)	1072 (65)	1259 (68)	1058 (52)	1523 (92)
San Pedro	903 (49)	803 (39)	1087 (66)	1371 (74)	1228 (61)	1523 (92)
San Isidro	1313 (71)	822 (40)	1743 (105)	1818 (98)	1246 (62)	2239 (136)
Monarca	920 (50)	636 (30)	1254 (76)	1293 (70)	1038 (51)	2065 (125)
Diamante	866 (47)	750 (36)	1104 (67)	1237 (67)	1170 (58)	1541 (93)
V-31	715 (39)	636 (30)	1188 (62)	1179 (64)	1096 (54)	1823 (110)
V-35	903 (49)	750 (36)	1071 (65)	1371 (74)	1228 (61)	1555 (94)

VE: emergencia, V5: 5 hojas compuestas, V10: 10 hojas compuestas y V20: 20 hojas compuestas.

Cuadro 6. Grados días desarrollo (°Cd) acumulados en la etapa reproductiva en diferentes cultivares de haba, sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán Primavera 2006. Números entre paréntesis son los días después de la siembra (dds).

	R4			R6		
	Montecillo	San Pablo	Cd. Serdán	Montecillo	San Pablo	Cd. Serdán
Tarragona Amarilla 1	1428 (77)	1334 (67)	1555 (94)	1644 (89)	1920 (99)	1725 (104)
Tarragona Amarilla 2	1390 (75)	1427 (72)	1983 (120)	1664 (90)	2108 (110)	2144 (130)
Tarragona Amarilla 3	1390 (75)	1334 (67)	1661 (100)	1540 (83)	1965 (102)	1837 (111)
Parraleña	1428 (77)	1427 (72)	1677 (101)	1725 (93)	1999 (104)	1810 (109)
Blanca	1502 (81)	1562 (79)	1692 (102)	2210 (119)	2088 (109)	1888 (114)
Pico de Orizaba	-----	-----	1810 (109)	-----	-----	2127 (129)
Juchitepec	1447 (78)	1409 (71)	-----	2117 (114)	2088 (109)	-----
Cochinera. Morada	1428 (77)	1465 (74)	1837 (111)	2416 (130)	2035 (106)	2050 (124)
Cochinera Montecillo	1390 (75)	1409 (71)	1626 (98)	1572 (85)	1617 (82)	1794 (108)
San Pedro	1447 (78)	1485 (75)	1473 (89)	2025 (109)	2128 (111)	2050 (124)
San Isidro	1556 (84)	1579 (80)	2082 (126)	1967 (106)	2128 (111)	2191 (133)
Monarca	1526 (82)	1445 (73)	1742 (105)	1664 (90)	1736 (89)	1983 (120)
Diamante	1502 (81)	1465 (74)	1555 (94)	2217 (114)	1999 (104)	2050 (124)
V-31	1371 (74)	1427 (72)	1404 (84)	2217 (114)	1718 (88)	2050 (124)
V-35	1371 (74)	1465 (74)	1404 (84)	1644 (89)	1701 (87)	1965 (119)

	R11		
Tarragona Amarilla 1	2702 (146)	3018 (162)	3020 (190)
Tarragona Amarilla 2	2644 (143)	3190 (172)	3292 (210)
Tarragona Amarilla 3	2683 (145)	3119 (168)	3430 (220)
Parraleña	2814 (152)	3221 (174)	3439 (221)
Blanca	2662 (144)	3170 (172)	3430 (220)
Pico de Orizaba	-----	-----	3277 (209)
Juchitepec	2570 (139)	3287 (178)	-----
Cochinera. Morada	2848 (154)	3138 (169)	3447 (225)
Cochinera Montecillo	2830 (153)	2644 (140)	3020 (190)
San Pedro	2758 (149)	3299 (179)	3292 (210)
San Isidro	2702 (146)	3358 (183)	3155 (200)
Monarca	2741 (148)	2821 (150)	3364 (215)
Diamante	2830 (153)	3171 (171)	3430 (220)
V-31	2478 (134)	2836 (151)	3155 (200)
V-35	2478 (134)	2804 (149)	3277 (209)

R4: inicio de la floración, R6: inicio de la fructificación y R11: madurez fisiológica

Para Montecillo se requieren un mínimo 1371.4 °Cd en cualquier cultivar para la floración, siendo las primeras en llegar a esta fase V-31, V-35, Cochinera Montecillo y Tarragona Amarilla 2 y 3 (Cuadro 6). En estudios previos para esta misma región se reporta un tiempo térmico entre 768 a 852 °Cd (Morales, 2007 y Pichardo *et al.*, 2007). Diferencias asociadas a la Tb utilizada para cada estudio. En San Pablo 10 cultivares

(Tarragona Amarilla 2, Parraleña, Juchitepec, Cochinera Morada, Cochinera Montecillo, San Pedro, Monarca, Diamante, V-31 y V-35) presentaron una acumulación hasta R4 similar entre 1400 y 1460 °Cd. Tarragona Amarilla 1 y 3 registraron la menor acumulación con 1334.3 °Cd, Blanca y San Isidro la mayor siendo de 1563 y 1579 °Cd, respectivamente. Cd. Serdán fue la localidad que presentó la mayor acumulación, en promedio 1678 °Cd. Tarragona Amarilla 2, Pico de Orizaba, Cochinera Morada y San Isidro requirieron la más alta acumulación de unidades calor (de 1800 a 2000 °Cd) (Cuadro 6). Pilbeam (1990), reporta una acumulación de emergencia a la primera flor entre 1060 y 1450 °Cd, en distintos cultivares de haba, mientras que Turpin *et al.* (2003), encontraron entre 438 a 818 °Cd y Ruiz y Mínguez (2006) de 600 °Cd en el cultivar Alameda.

Al inicio de la vaina (R6) Tarragona Amarilla 3 (1540 °Cd), Cochinera Montecillo (1617 °Cd) y Tarragona Amarilla 1 (1725 °Cd) requirieron la menor acumulación y la mayor se presentó en Cochinera Morada (2416 °Cd), San Isidro (2128 °Cd) y San Isidro (2191 °Cd) en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadro 6). En Cochinera Montecillo, Morales (2007) y Pichardo *et al.* (2007) reportan una acumulación de UC a la R6 de 1141 y 1176, respectivamente. Pilbeam (1990) reporta en cultivares de haba entre 1300 y 1600 °Cd a la primera legumbre. Diferencias asociadas a la Tb utilizada para cada estudio.

Para la R11 en cualquier ambiente se requieren entre 2600 y 3500 °Cd, siendo Montecillo donde se alcanza más rápidamente esta fase, con una acumulación menor a 2900 °Cd en promedio, contrastando con lo reportado por Morales (2007) y Pichardo *et al.* (2007) quienes en la misma región encontraron a la madurez fisiológica una acumulación de UC entre 1650 y 1720, estas diferencias pueden asociar a la temperatura base utilizada en cada ensayo. En Cd, Serdán el tiempo térmico fue mayor, ya que con al menos con 3447 °Cd maduran todos los cultivares. V-31 y V-35, en Montecillo y Cochinera Montecillo en San Pablo y Cd. Serdán fueron los cultivares en alcanzar la madurez con la menor acumulación de unidades calor igual a 2478, 2478, 2644 y 3020 °Cd, respectivamente. En Montecillo (2848.3 °Cd) y Cd. Serdán

(3447 °Cd) el cultivar Cochinera Morada fue el más tardío, mientras que en San Pablo (3358.1 °Cd) fue San Isidro (Cuadro 6). Cruz (1996), concluye que en haba se requieren al menos de 1491 y 1508 °Cd de siembra a madurez en Cd. Serdán y San Miguel Tlaixpan (región cercana a San Pablo). Solórzano (1993), reporta un promedio de 3470 GDA (grados día acumulados) de S-R11 en diferentes accesiones de haba colectadas en los Valles Altos y sembradas en Chapingo, México. México.

Por lo tanto, para el cultivo de haba la acumulación de grados-día dependerá de la Tmax y Tmin que se presenten durante el desarrollo del cultivo. Además Turpin *et al.* (2003) menciona que la acumulación de grados-día presenta diferencias de un lugar a otro y de un año a otro por las variaciones en la longitud del día (horas luz). Boote *et al.*, (2002) indican que el número de horas luz tiene un efecto significativo sobre la duración de las diferentes fases fenológicas del haba. Diversos trabajos concluyen que temperaturas altas y días largos aceleran la floración en diversos cultivos (Ford *et al.*, 1981 y Davidson *et al.*, 1985). En general se requieren de 2695.7, 3078.4 y 3289 °Cd de VE–R11 en regiones con temperatura similar a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán.

3.4. Evapotranspiración real

La evapotranspiración real (ETc) en Montecillo durante el periodo S–VE osciló entre 19.7 y 39.7 mm (promedio 24.4 mm). En San Pablo durante el mismo periodo fue en promedio 20 mm (Cuadro 7). Sin embargo, en esta etapa se puede considerar que la mayor proporción de la ETc es evaporación del suelo (ES), ya que la mayor evaporación ocurre en los primeros estadios de crecimiento del cultivo, cuando las plantas son pequeñas y gran parte de la superficie del suelo está expuesta a la radiación solar (Pergolini *et al.*, 2004).

En Montecillo el cultivar San Isidro fue el de mayor demanda hídrica para alcanzar la V10 con 196.2 mm, mientras que en San Pablo fue San Pedro y San Isidro con 93.2 y 95.6 mm, respectivamente (Cuadro 7). En Montecillo se debió al mayor tiempo en

alcanzar esta fase (71 días, Figura 2A) y en San Pablo se asoció principalmente al tamaño del dosel vegetal ya que en los dos cultivares a los 89 días después de la siembra (dds) se presentó la menor área foliar. Por lo tanto, en ambas localidades los dos casos mostraron la ES más alta. En general, los cultivares Tarragona Amarilla 1 y 2 para alcanzar esta etapa, mostraron la menor ETc en las dos localidades. En Montecillo, en cualquier cultivar se observó un mínimo de 202.3 mm para inicio de floración mientras que en San Pablo fue de 172.3 mm (Cuadro 7). Estas diferencias se pueden atribuir a la mayor cantidad de radiación global en Montecillo estimada a través de la latitud (a menor latitud mayor radiación) o bien a la mayor altura de planta y área foliar que se encontraron en San Pablo disminuyendo la ES. La ES es limitada por la energía disponible que es función de la cubierta vegetal. Por una parte, las plantas reflejan y absorben una porción de la radiación incidente que será proporcional al índice de área foliar (IAF). La extinción de la radiación visible en cubiertas vegetales se ha descrito como un proceso de extinción exponencial, en función de la altura del cultivo o del IAF. Es decir, a mayor atenuación causada por la cubierta vegetal menor demanda evaporativa a nivel suelo (Villalobos, 1990).

Para R6 en la localidad de Montecillo se necesitan en promedio 311 mm siendo el cultivar Cochinera Morada el de mayor demanda (395.7 mm) y Tarragona Amarilla 3 (237.4 mm) el de menor. El consumo de agua en San Pablo fue menor con un promedio de 300 mm. Sin embargo, en ambas localidades para alcanzar la R11 se presentó un consumo de agua similar con un promedio de 415 y 426 mm, para Montecillo y San Pablo, respectivamente (Cuadro 7). Aunque, considerando la duración del ciclo, Montecillo presentó un mayor consumo de agua con aproximadamente 2.86 mm día⁻¹, mientras que en San Pablo de 2.58 mm día⁻¹. Estas diferencias se pueden asociar a los factores meteorológicos y del cultivo antes mencionados presentados en cada localidad. Así, Cochinera Morada en Montecillo y San Isidro en San Pablo fueron los de mayor ETc con 423.4 y 442.7 mm, respectivamente. V-31 y V-35 requirieron de 401.1 mm para completar su ciclo en Montecillo y Cochinera Montecillo 390.9 mm en San Pablo (Cuadro 7). Solórzano (1993), Morales (2007) y Pichardo *et al.*, (2007) mencionan una ETc acumulada entre 300 y 450 mm en diferentes cultivares de haba.

Cuadro 7. Evapotranspiración real (mm) en cultivares de haba y etapas fenológicas, sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo y San Pablo. Primavera 2006.

	VE		V10		R4		R6		R11	
	Montecillo	San Pablo								
Tarragona Amarilla 1	22.6	19.4	89.8	65.0	212.0	172.7	269.4	304.7	415.9	425.4
Tarragona Amarilla 2	25.7	21.0	86.5	61.5	205.4	191.2	272.9	327.6	413.2	435.6
Tarragona Amarilla 3	19.7	19.4	124.4	52.3	205.4	172.7	237.4	310.5	415.1	430.4
Parraleña	22.6	19.4	120.5	74.6	212.0	191.2	286.0	313.6	421.7	436.6
Blanca	22.6	19.4	83.4	80.5	229.4	220.3	368.4	325.6	414.3	435.6
Juchitepec	22.6	19.4	89.4	74.6	215.4	187.0	356.8	325.6	409.4	438.8
Cochinera Morada	22.6	19.4	106.4	71.5	212.0	199.4	395.7	316.3	423.4	432.5
Cochinera Montecillo	39.7	16.4	111.0	68.0	205.4	187.0	250.5	234.0	422.4	390.9
San Pedro	22.6	19.4	120.5	93.2	215.5	203.0	340.4	330.4	419.1	439.7
San Isidro	28.6	23.9	196.2	95.6	243.9	224.7	329.9	330.4	415.9	442.7
Monarca	25.7	21.0	124.4	68.0	232.2	194.3	272.9	265.3	418.1	409.1
Diamante	22.6	19.4	114.3	84.9	229.4	199.4	356.8	313.6	422.6	434.9
V-31	22.6	19.4	89.8	68.0	202.3	191.2	356.8	259.8	401.1	410.5
V-35	22.6	19.4	120.5	84.9	202.3	199.4	269.4	255.7	401.1	408.7

VE: Emergencia, V10: 10 hojas compuestas, R4: inicio de la floración, R6: inicio de la fructificación y R11: madurez fisiológica.

3.5. Variables morfológicas

3.5.1. Altura de planta

Se encontraron diferencias estadísticas entre los cultivares a los 89 y 132 dds en Montecillo, a los 89 dds en San Pablo y todo el ciclo en Cd. Serdán (Cuadros 3, 4 y 5 Apéndice). Se observó un aumento gradual de la altura de la planta (AP) a través del tiempo, presentando sus valores máximos a la cosecha (Figura 3A, B y C). Un comportamiento similar encontraron Sánchez *et al.* (2001), Pichardo (2006) y Morales (2007) en diferentes cultivares de haba. Así, Juchitepec (147.3 cm), V-35 (196.7 cm) y Cochiner Morada (155.5 cm) fueron los cultivares con la mayor longitud de tallo en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente, superando en 17.4, 15.4 y 4.7% al cultivar local (Figura 3A, B y C). En San Pablo y Cd. Serdán, San Isidro (165.7 y 101.0 cm, respectivamente) fue el de menor altura final con una tasa de incremento en

promedio de 8.7 y 5.5 mm día⁻¹, mientras que en Montecillo fue Tarragona Amarilla 3 (93.7 cm) con 5.6 mm día⁻¹ (Cuadros 6, 7 y 8 Apéndice).

La mayor tasa de incremento por día se encontró durante el periodo 90–132 fue en promedio de 8.14, 11.36 y 12.7 mm día⁻¹ para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadro 6, 7 y 8 Apéndice). Aunque, Cd. Serdán presentó el incremento más alto, la mayor altura final correspondió a San Pablo (en promedio 180 cm). Montecillo presentó la menor altura de los cultivares con 123 cm (Figura 3A). Una altura entre 120 y 150 cm para esta región reportan Pichardo (2005) y Morales (2007) en cultivares de haba. Las diferencias en las tres localidades pueden explicarse por la condiciones climáticas presentes en cada zona como son las horas luz y en particular por la precipitación, ya que la temperatura promedio de Montecillo fue similar a San Pablo y mayor a Cd. Serdán, sin embargo la precipitación durante el ciclo del cultivo fue más baja que en la regiones restantes (Figura 1A). Sánchez *et al.* (2001) mencionan una mayor altura en haba con una adecuada precipitación (mayor a 600 mm). Recinos (1995), atribuyó el mayor crecimiento del tallo principal a la mayor humedad aprovechable del suelo.

3.5.2. Número de nudos

En el Cuadro 4 y 5 Apéndice que presenta el número de nudos (NN) para San Pablo y Cd. Serdán, en cualquier fecha se observaron diferencias altamente significativas entre cultivares. Montecillo presentó diferencias al inicio del cultivo (89 dds) solamente (Cuadro 3 Apéndice). En todos los cultivares el NN al avanzar la estación de crecimiento presentó un patrón sigmoideal simple, similar al observado por Pichardo (2005) y Morales (2007). A la cosecha, el promedio de NN en San Pablo fue de 113, superior a Montecillo en 9% y Cd Serdán en 39.8% (Figura 4A, B y C). Esta última no obstante de tener un crecimiento en longitud medio, mostró un menor NN lo que significa que la longitud internodal es mayor a las localidades restantes.

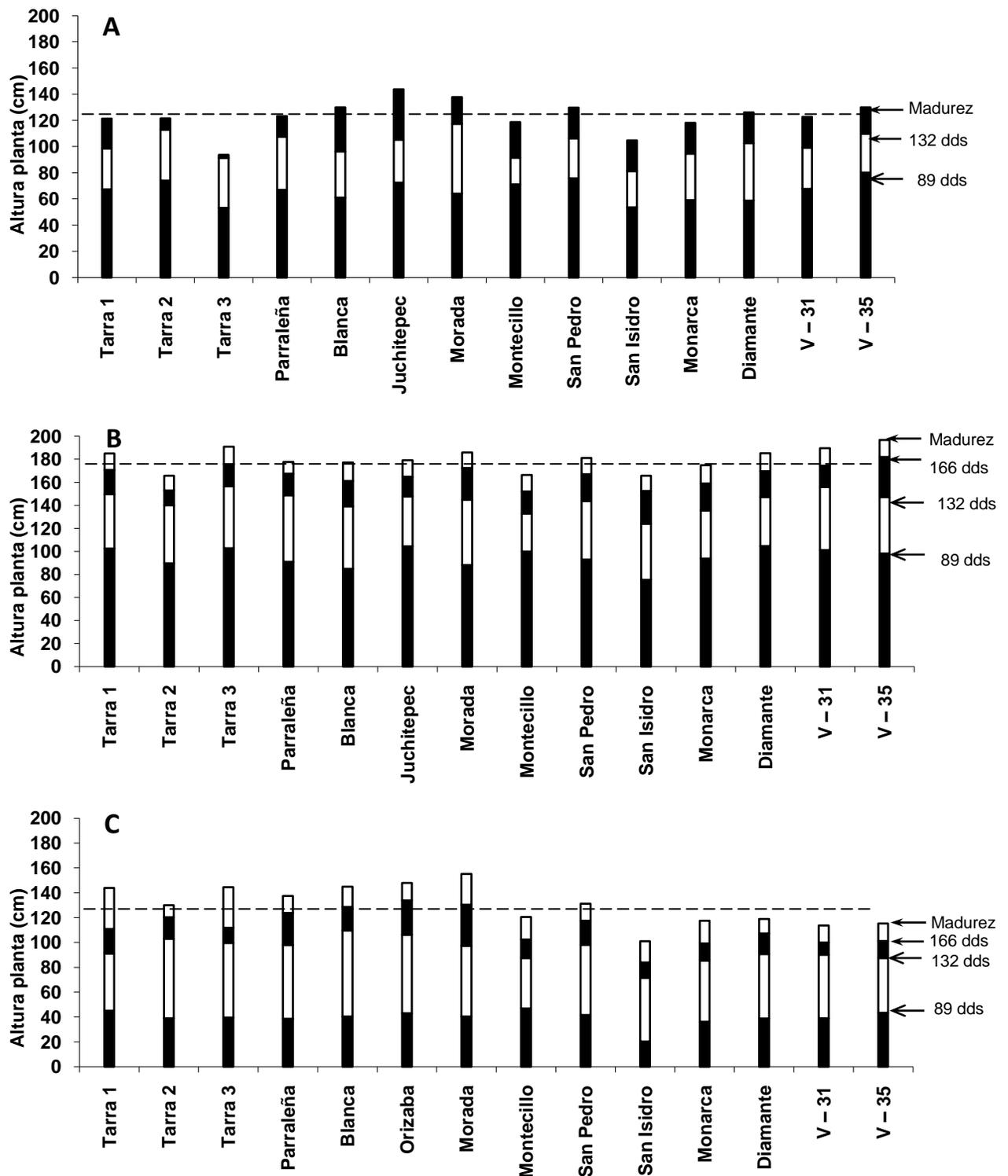


Figura 3. Dinámica de la altura de la planta en diferentes cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2006. dds: días después de la siembra. La línea punteada en cada gráfica es el promedio a la cosecha.

Blanca en Montecillo presentó el mayor NN con 130, seguido del cultivar V-35, mientras que el más bajo correspondió a San Isidro y Tarragona Amarilla 3 (Figura 4A). V-35 mostró un comportamiento diferente en Cd. Serdán ya que junto con V-31 presentó el menor NN con 55 y 54, respectivamente, siendo Blanca el de mayor NN con 95.6 (Figura 4C). Tarragona Amarilla 2 y San Pedro sembradas en San Pablo presentaron el mayor y menor NN con 144 y 91, respectivamente (Figura 4B).

En los Cuadro 6, 7 y 8 Apéndice se puede observar que Cd. Serdán en contraste con Montecillo y San Pablo, se encontró la menor tasa de aparición de nudos (TN) con 0.22, 0.35, 0.63 y 0.27 nudos día⁻¹ para los periodos 0–89, 90–132, 133–166 y 167–MF, debido a que en Cd Serdán la temperatura ambiental (15.5 °C) durante el ciclo del cultivo fue más baja que en Montecillo y San Pablo. Herdina y Silsbury (1989), concluyen que un aumentó de 10 a 20 °C en la temperatura reduce el tiempo a la aparición de nudos. La TN en Montecillo presentó su valor máximo a los 89–132 dds con 1.3 nudos día⁻¹ cuando la temperatura media se acercaba a la temperatura óptima para la producción de nudos (23 °C) según Evans (1957) (Cuadro 6 Apéndice).

San Pablo mostró un comportamiento irregular aunque de 0–89 dds la temperatura fue más alta (> 19 °C) la TN no fue la mayor (0.47 nudos día⁻¹) debido a que en las primeras etapas del cultivo del haba el crecimiento es lento y tardío. A los 89–132 dds se presentaron 0.81 nudos día⁻¹ cuando la temperatura fue todavía alta y la precipitación considerable (mayor a 150 mm). Posteriormente la temperatura disminuyó (Figura 1B) y la TN siguió el mismo comportamiento (Cuadro 7 Apéndice).

3.5.3. Número de foliolulos

El número de foliolulos (NF) se incrementó conforme avanzó el desarrollo del cultivo presentando su valor máximo en Montecillo y San Pablo a los 89 dds y a los 132 dds en Cd. Serdán, encontrándose cambios significativos entre cultivares (Cuadros 8, 9 y 10). Las plantas mostraron diversidad en el NF distribuido en el dosel, observándose al menos tres regiones en el tallo principal: las primeras hojas compuestas con 2–3

foliolulos, una segunda región de 4–5 foliolulos y la zona superior con más de 6. Resultados similares encontró en Montecillo Pichardo (2005) y Morales (2007). Las diferencias en el número de días al valor máximo de NF entre localidades puede asociarse a cambios en el régimen hídrico ya que Montecillo y San Pablo presentaron una precipitación acumulativa a los 89 dds de 252.9 y 305.4 mm, respectivamente, mientras en Cd. Serdán una precipitación similar (257 mm) se alcanza hasta los 132 dds (Figura 1A, B y C). Así, el valor promedio más alto de foliolulos por planta fue de 136.9, 167.2 y 158.8 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadros 8, 9 y 10). La temperatura máxima (promedio de 30.2 °C) ocurrida durante el periodo 0–89 en Montecillo influyó en la producción de foliolulos tal como lo menciona Dunnet *et al.* (1978) quien encontró que la temperatura máxima afecta más la aparición foliar en comparación con la temperatura mínima y media.

Tarragona Amarilla 2, V–31 y V–35 fueron los cultivares más sobresalientes en Montecillo con 163.7, 197.7 y 167.2 foliolulos planta⁻¹, respectivamente (Cuadro 8). En San Pablo fue Tarragona Amarilla 3 con 239.5 foliolulos planta⁻¹ (2.69 foliolulos día⁻¹), mientras que en Cd. Serdán Blanca con 236.3 foliolulos planta⁻¹ (4.08 foliolulos día⁻¹) (Cuadros 9 y 10). En las tres localidades el NF más bajo se presentó en San Isidro.

La caída en el NF en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán a los 132, 132, y 166 dds se explican por la absición y senescencia foliar. Teniendo una tasa de senescencia promedio estimada de 0.12, 1.66 y 1.97 foliolulos día⁻¹, respectivamente, los cultivares con mayor pérdida de hojas por día fueron V-31 (0.85), Tarragona Amarilla 2 (3.58) y Parraleña (4.09) en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadros 5, 6 y 7 del Apéndice). Esto se debe a la demanda de fotosintatos por parte de las estructuras reproductivas, ya que en las fechas antes mencionadas fueron los cultivares con mayor cantidad de flores (Cuadro 11).

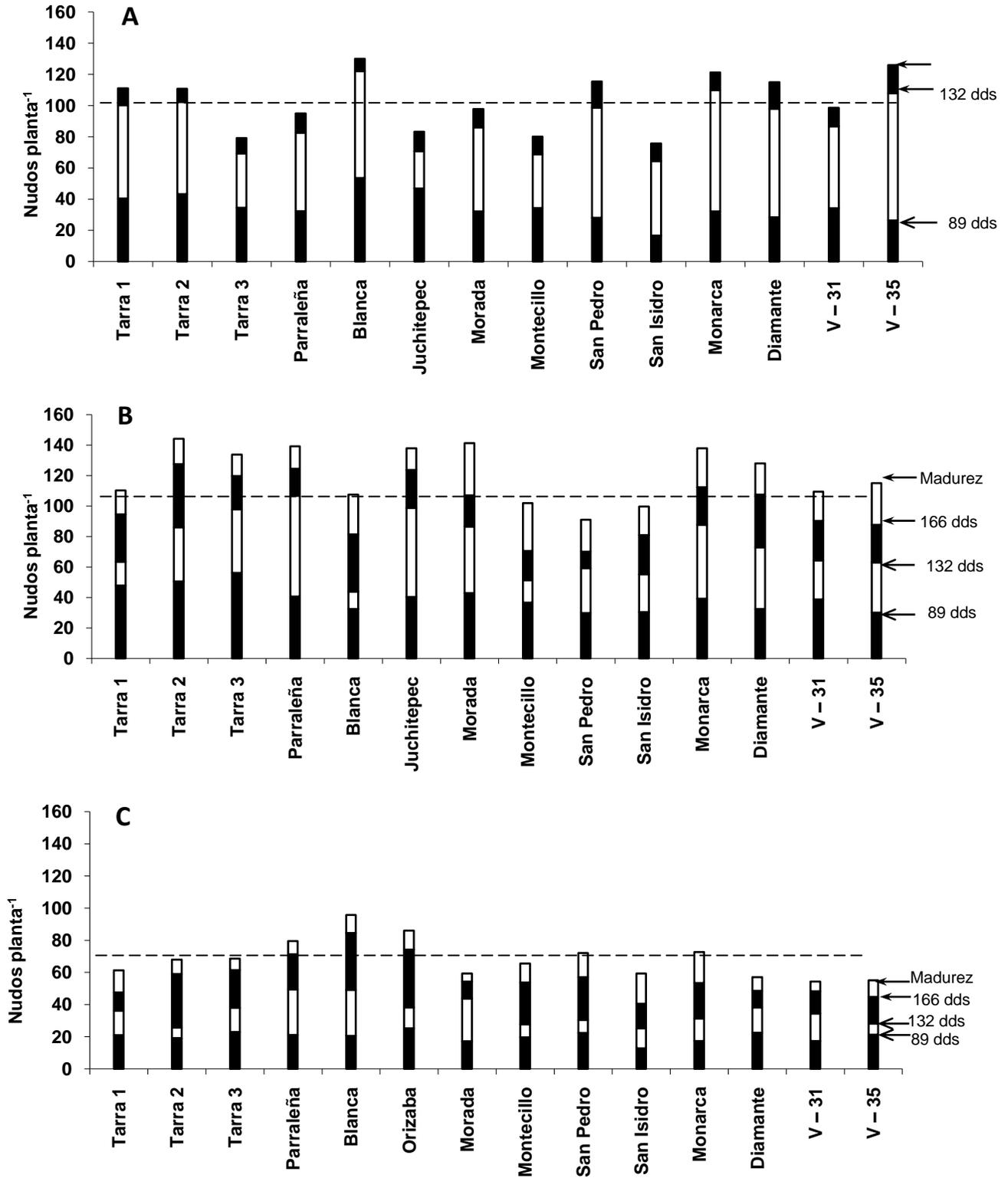


Figura 4. Dinámica del número de nudos en diferentes cultivares de haba, sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2006. dds: días después de la siembra. La línea punteada en cada gráfica es el promedio a la cosecha.

Tarragona Amarilla 2, V-31 y V-35 fueron los cultivares más sobresalientes en Montecillo con 163.7, 197.7 y 167.2 foliolulos planta⁻¹, respectivamente (Cuadro 8). En San Pablo fue Tarragona Amarilla 3 con 239.5 foliolulos planta⁻¹ (2.69 foliolulos día⁻¹), mientras que en Cd. Serdán Blanca con 236.3 foliolulos planta⁻¹ (4.08 foliolulos día⁻¹) (Cuadros 9 y 10). En las tres localidades el NF más bajo se presentó en San Isidro.

La caída en el NF en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán a los 132, 132, y 166 dds se explican por la abscisión y senescencia foliar. Teniendo una tasa de senescencia promedio estimada de 0.12, 1.66 y 1.97 foliolulos día⁻¹, respectivamente, los cultivares con mayor pérdida de hojas por día fueron V-31 (0.85), Tarragona Amarilla 2 (3.58) y Parraleña (4.09) en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadros 5, 6 y 7 del Apéndice). Esto se debe a la demanda de fotosintatos por parte de las estructuras reproductivas, ya que en las fechas antes mencionadas fueron los cultivares con mayor cantidad de flores (Cuadro 11).

Cuadro 8. Número de foliolulos y área foliar en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo. Primavera 2006. dds: días después de la siembra.

Cultivar	Foliolulos planta ⁻¹		Área foliar (dm ²)	
	89 dds	132 dds	89 dds	132 dds
Tarragona Amarilla 1	152.0 ab ^z	150.7 a	15.0 a	5.4 a
Tarragona Amarilla 2	163.7 a	158.0 a	20.2 a	9.0 a
Tarragona Amarilla 3	128.0 ab	115.7 a	10.3 a	3.5 a
Parraleña	160.7 a	178.0 a	10.5 a	4.2 a
Blanca	153.3 ab	166.7 a	15.9 a	9.8 a
Juchitepec	138.5 ab	114.7 a	13.3 a	2.5 a
Cochinera Morada	106.7 ab	113.7 a	12.3 a	4.5 a
Cochinera Montecillo	160.0 a	111.3 a	16.0 a	1.5 a
San Pedro	135.5 ab	107.0 a	10.8 a	4.2 a
San Isidro	58.2 b	70.7 a	18.2 a	2.6 a
Monarca	128.3 ab	137.0 a	11.9 a	4.7 a
Diamante	95.6 ab	105.0 a	10.0 a	5.4 a
V - 31	197.7 a	161.0 a	18.1 a	9.0 a
V - 35	167.2 a	183.7 a	17.3 a	8.8 a
Promedio	138.9	133.7	14.3	5.4
DSH_{0.05}	94.6	147.1	16.0	11.4

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5%.

Cuadro 9. Número de foliolulos y área foliar en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en San Pablo. Primavera 2006. dds: días después de la siembra.

Cultivar	Foliolulos planta ⁻¹			Área foliar (dm ²)		
	89 dds	132 dds	166 dds	89 dds	132 dds	166 dds
Tarragona Amarilla 1	221.2 bc ^z	115.0 a	0.0 a	111.9 a	9.5 a	0.0 a
Tarragona Amarilla 2	214.3 abc	60.5 a	0.0 a	66.8 cd	15.8 a	0.0 a
Tarragona Amarilla 3	239.5 a	180.3 a	13.3 a	109.8 ab	17.0 a	1.2 a
Parraleña	193.0 abcd	153.5 a	11.0 a	63.2 cd	16.4 a	14.7 a
Blanca	137.5 abcd	106.0 a	2.0 a	51.5 cd	17.5 a	0.4 a
Juchitepec	198.7 abcd	115.7 a	0.0 a	82.0 abc	7.2 a	0.0 a
Cochinera Morada	167.0 abcd	105.8 a	3.8 a	63.6 cd	12.7 a	0.3 a
Cochinera Montecillo	141.2 abcd	54.3 a	0.0 a	56.3 cd	3.9 a	0.0 a
San Pedro	138.5 abcd	83.0 a	0.0 a	37.6 d	7.8 a	0.0 a
San Isidro	107.3 d	67.8 a	0.0 a	39.1 d	10.6 a	0.0 a
Monarca	158.7 abcd	84.7 a	0.0 a	59.7 cd	11.0 a	0.0 a
Diamante	130.5 bcd	51.3 a	0.0 a	57.4 cd	8.9 a	0.0 a
V – 31	175.8 abcd	61.3 a	0.0 a	69.5 bcd	9.5 a	0.0 a
V – 35	117.2 cd	112.3 a	0.0 a	62.4 cd	16.9 a	0.0 a
Promedio	167.2	96	2.1	66.5	11.8	1.2
DSH_{0.05}	102.7	180.5	23.0	42.3	22.0	2.2

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

Cuadro 10. Número de foliolulos y área foliar en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Cd. Serdán. Primavera 2006. dds: días después de la siembra.

Cultivar	Foliolulos planta ⁻¹			Área foliar (dm ²)		
	89 dds	132 dds	166 dds	89 dds	132 dds	166 dds
Tarragona Amarilla 1	65.5 a ^z	142.1 c	107.7 ab	6.7 a	14.7 b	8.3 ab
Tarragona Amarilla 2	53.0 ab	149.0 bc	159.0 a	6.3 a	16.8 ab	10.6 ab
Tarragona Amarilla 3	64.7 a	174.5 abc	116.7 ab	7.1 a	14.9 b	8.5 ab
Parraleña	58.5 ab	224.9 ab	86.0 ab	7.5 a	20.0 ab	7.3 ab
Blanca	61.0 ab	236.3 a	130.0 ab	12.2 a	26.4 a	16.2 a
Pico de Orizaba	67.0 a	154.0 bc	141.2 ab	5.6 a	18.3 ab	16.1 a
Cochinera Morada	47.6 ab	185.0 abc	87.0 ab	4.5 a	17.6 ab	8.2 ab
Cochinera Montecillo	65.9 a	137.5 c	46.7 ab	8.0 a	11.2 b	4.9 ab
San Pedro	59.5 ab	109.2 c	104.7 ab	6.0 a	9.9 b	8.5 ab
San Isidro	24.5 b	117.7 c	80.5 ab	3.3 a	14.9 b	8.5 ab
Monarca	46.6 ab	147.0 bc	44.7 b	5.6 a	19.3 ab	2.4 b
Diamante	59.1 ab	162.7 abc	70.7 ab	10.6 a	19.1 ab	5.1 ab
V – 31	52.9 ab	151.5 bc	53.7 ab	6.7 a	14.0 b	3.1 ab
V – 35	60.2 ab	132.5 c	58.5 ab	5.9 a	10.9 b	4.6 ab
Promedio	56.2	158.8	92.0	6.9	16.3	8.0
DSH_{0.05}	41.0	80.3	112.7	13.5	11.2	13.3

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

3.5.4. Área foliar

En Montecillo el área foliar (AF) se observó desde la emergencia hasta los 132 dds en comparación con San Pablo y Cd. Serdán que se prolongó por 34 días (166 dds) (Cuadros 8, 9 y 10). Dicho comportamiento se relacionó con la menor precipitación que se presentó durante el ciclo del cultivo en Montecillo. La máxima AF promedio en Montecillo se observó a los 89 dds y fue de 14.3 dm^2 . El cultivar Tarragona Amarilla 2 mostró la mayor AF con 20.2 dm^2 asociándose principalmente a la expansión foliar ya que no fue el cultivar que presentó el mayor número de foliolulos (NF). San Isidro no obstante que presentó el menor NF su AF fue una de las más altas con 18.2 dm^2 (Cuadro 8). Sin embargo, mostró la mayor tasa de senescencia durante el periodo 90–132 dds con $0.36 \text{ dm}^2 \text{ día}^{-1}$. Presentando en promedio una tasa de senescencia de $0.20 \text{ dm}^2 \text{ día}^{-1}$ a los 90–132 dds y de $0.31 \text{ dm}^2 \text{ día}^{-1}$ a partir de los 133 dds, hasta llegar a un AF de cero a la MF (Cuadro 6 Apéndice). Diamante presentó 10.0 dm^2 de AF máxima.

En San Pablo se observó la mayor AF en relación a Montecillo y Cd. Serdán (Cuadro 9). A los 89 dds fue de 66.5 dm^2 ya que la precipitación antes y después de este periodo fue de 488 mm con una temperatura media de $19.5 \text{ }^\circ\text{C}$. Elston *et al.* (1979) y Dente *et al.* (1979) mencionan que un suministro adecuado de agua al inicio del ciclo del cultivo es fundamental para una mayor tasa de expansión foliar, además está tiene su temperatura óptima entre los 19.9 y $23 \text{ }^\circ\text{C}$ (Ellis *et al.* 1988a, Ellis *et al.* 1988c). Tarragona Amarilla 1 y 2 presentaron la mayor AF con una tasa de incremento de 1.3 y $1.2 \text{ dm}^2 \text{ día}^{-1}$, respectivamente (Cuadro 2 del apéndice). A los 166 dds solo Tarragona Amarilla 3, Parraleña y Cochinerá Morada presentaban AF, un comportamiento diferente se observó en Cd. Serdán ya que en la misma fecha todos los cultivares contaban con AF en promedio de 8.0 dm^2 lo cual se debe a que el desarrollo de los cultivares en esta región fue más lento además de que la senescencia foliar se observó a partir de los 132 dds (Cuadro 7 Apéndice). Blanca presentó la mayor AF con 26.4 dm^2 a los 132 dds, mientras que San Pedro presentó la más baja con 9.9 dm^2 (Cuadro 10).

3.5.5. Número racimos florales

El número de racimos florales (NR) en las tres localidades se registró solamente a los 89 y 132 dds. El NR más alto en Montecillo y San Pablo se observó a los 89 y en Cd. Serdán hasta los 132 dds, observándose diferencias significativas entre cultivares (Cuadro 11). Estas diferencias se asocian principalmente con la precipitación pluvial de cada localidad. Pichardo (2005) encontró la mayor cantidad de flores a los 112 dds con una evapotranspiración mínima de 125 mm, de tal manera que en Montecillo y San Pablo a los 89 días se cubren las necesidades hídricas y en Cd. Serdán está ocurre hasta los 132 dds.

La producción máxima promedio de racimos por planta fue de 37.0, 54.6 y 33.0 para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadro 11). El menor NR de Montecillo y Cd. Serdán se debió a una menor precipitación acumulada (13.2 y 8 mm, respectivamente) en los últimos diez días antes del muestreo (Figura 1A y C). Grashoff (1990) menciona que en haber un suministro apropiado de agua antes y durante la floración es importante para evitar la caída de flores. En San Pablo la precipitación fue de 73.9 mm (Figura 1A)

En Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán el cultivar con mayor NR fue V-31, Tarragona Amarilla 3 y Blanca (87.2, 83.8 y 65.5, respectivamente) y los menos productivos fueron Monarca, Blanca y V-31 con 26.7, 22.0 y 18.3 racimos, respectivamente. (Cuadro 11).

Cuadro 11. Número de racimos florales en cultivares de haba a los 89 y 132 días después de la siembra (dds) sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. Primavera 2006.

Cultivar	Montecillo		San Pablo		Cd. Serdán	
	89 dds	132 dds	89 dds	132 dds	89 dds	132 dds
Tarragona Amarilla 1	34.1 b ^z	2.3 b	76.2 a	1.2 a	0.0 c	31.2 bc
Tarragona Amarilla 2	45.7 b	15.0 a	79.3 a	7.5 a	0.0 c	36.5 bc
Tarragona Amarilla 3	39.2 b	3.7 b	83.8 a	19.0 a	0.0 c	38.1 bc
Parraleña	40.8 b	14.8 a	50.7 ab	21.7 a	0.0 c	64.6 a
Blanca	32.3 b	7.1 ab	22.0 b	18.7 a	0.0 c	65.5 a
Pico de Orizaba	-----	-----	-----	-----	0.0 c	39.8 ab
Juchitepec	31.5 b	0.0 b	63.5 ab	2.7 a	-----	-----
Cochinera Morada	30.7 b	2.0 b	48.8 ab	6.0 a	0.0 c	33.0 bc
Cochinera Montecillo	38.7 b	0.0 b	64.3 ab	0.0 a	0.0 c	35.3 bc
San Pedro	36.7 b	5.0 ab	41.8 ab	0.0 a	6.6 bc	22.7 bc
San Isidro	28.3 b	3.3 b	24.7 b	0.0 a	0.0 c	18.3 c
Monarca	26.7 b	2.7 b	47.3 ab	0.0 a	0.0 c	26.0 bc
Diamante	33.5 b	3.7 b	47.5 ab	0.0 a	0.0 c	18.5 c
V – 31	87.2 a	0.0 b	65.2 ab	0.0 a	13.4 ab	18.3 c
V – 35	51.8 b	0.0 b	50.3 ab	0.0 a	14.5 a	24.7 bc
Promedio	37.0	4.3	54.6	5.5	2.5	33.7
DSH_{0.05}	28.4	10.1	49.3	37.4	6.9	30.1

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

3.6. Eficiencia agronómica en el uso del agua y de la precipitación

En Montecillo y San Pablo la eficiencia en el uso del agua (EUA) para la producción de materia seca (MS) o biomasa (g MS mm^{-1}) y rendimiento de grano seco (RGS) (g G mm^{-1}) mostró cambios significativos entre cultivares (Cuadro 12).

En general, Montecillo presentó una EUA para la producción de biomasa menor ($0.37 \text{ g MS mm}^{-1}$) a San Pablo ($0.88 \text{ g MS mm}^{-1}$) (Cuadro 12). Estas diferencias pueden asociarse al AF más baja que existió en Montecillo en contraste con San Pablo (Cuadro 8 y 9) generando una menor cobertura vegetal y tasa fotosintética, disminuyendo la producción de materia seca. Pergolini *et al.* (2004) encontró que la diferencia en el consumo de agua se debió a la producción de materia seca, existiendo una relación directamente proporcional entre la evapotranspiración acumulada y la producción de materia seca

El cultivar local en Montecillo (Cochinera Montecillo) y Cochinera Morada en San Pablo presentaron uno de los valores más altos de ETc (Cuadro 7), este mayor consumo de agua se debe a la mayor producción de materia seca, es lo que explica en parte el mayor rendimiento de grano. Siendo, estos cultivares los que mostraron la mayor EUA tanto para MS y rendimiento de semilla, posiblemente debido a una mayor cantidad de CO₂ fijado por unidad de agua transpirada. Es decir, ante un mismo consumo de agua, Cochinera Montecillo y Cochinera Morada producen la mayor cantidad de biomasa y rendimiento de semilla. La EUA más baja en Montecillo para biomasa y rendimiento de granos seco se encontraron en Tarragona Amarilla 1 con 0.27 g MS mm⁻¹ y de 0.09 g G mm⁻¹ en Cochinera Morada. En San Pablo Cochinera Morada fue el cultivar más eficiente con 1.42 g MS mm⁻¹ y San Isidro el menos eficiente con 0.52 g MS mm⁻¹. Blanca solo presentó una producción de grano seco por mm de agua de 0.13 g (Cuadro 12).

La eficiencia en el uso de la precipitación (EUP) presentó cambios altamente significativos para la MS y RGS entre los cultivares evaluados en las tres localidades (Cuadro 13). La mayor EUP para la producción de MS y RGS en promedio fue mayor en Cd. Serdán. En la EUP para MS destacaron Cochinera Montecillo, Cochinera Morada y Pico de Orizaba en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, con 0.57, 1.24 y 1.43 g MS mm⁻¹, respectivamente. Los valores más bajos se presentaron en Tarragona 3, San Isidro y San Isidro, respectivamente. En Montecillo La EUP para grano más alta se mostró en Cochinera Montecillo con 0.39 g G mm⁻¹ superando en 72% a Tarragona 2 que presentó el valor más bajo (0.11 g G mm⁻¹). San Pablo mostró un comportamiento similar siendo la EUP más alta en Cochinera Morada con 0.42 g G mm⁻¹ y la más baja de 0.11 g G mm⁻¹ en Blanca, sin embargo, este mismo cultivar fue el más eficiente en utilizar la precipitación en Cd. Serdán con 0.73 g G mm⁻¹ (Cuadro 13)

Lo anterior sugiere que en regiones con escasa precipitación se recomienda Cochinera Montecillo, Cochinera Morada o Pico de Orizaba para la producción de MS y Cochinera Montecillo, Cochinera Morada y Blanca para RGS (Cuadro 13).

Cuadro 12. Eficiencia en el uso del agua (EUA) para la producción de materia seca (g MS mm⁻¹) y rendimiento de grano seco (g G mm⁻¹) en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo y San Pablo. Primavera 2006.

Cultivar	-----Montecillo-----		-----San Pablo-----	
	g MS mm ⁻¹	g G mm ⁻¹	g MS mm ⁻¹	g G mm ⁻¹
Tarragona Amarilla 1	0.27b ^z	0.12 bc	0.85 bcd	0.28 bcde
Tarragona Amarilla 2	0.38 ab	0.10 c	1.08 abc	0.19 cde
Tarragona Amarilla 3	0.30 b	0.11 bc	0.94 abcd	0.29 abcde
Parraleña	0.34 ab	0.16 bc	1.01 abc	0.15 e
Blanca	0.46 ab	0.16 bc	0.64 bcd	0.13 e
Pico de Orizaba	-----	-----	-----	-----
Juchitepec	0.33 ab	0.14 bc	1.10 ab	0.41 ab
Cochinera Morada	0.33 ab	0.09 c	1.42 a	0.48 a
Cochinera Montecillo	0.53 a	0.37 a	0.81 cd	0.40 abc
San Pedro	0.41 ab	0.19 bc	0.59 cd	0.22 bcde
San Isidro	0.40 ab	0.20 bc	0.52 d	0.17 de
Monarca	0.39 ab	0.15 bc	0.89 abc	0.34 abcde
Diamante	0.35 ab	0.18 bc	1.02 bcd	0.36 abcd
V-31	0.43 ab	0.25 ab	0.77 bcd	0.31 abcde
V-35	0.30 ab	0.13 bc	0.78 bcd	0.31 abcde
Promedio	0.37	0.17	0.88	0.28
DSH_{0.05}	0.16	0.10	0.49	0.20

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

Cuadro 13. Eficiencia en el uso de la precipitación (EUP) para la producción de materia seca (g MS mm⁻¹) y rendimiento de grano seco (g G mm⁻¹) en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. Primavera 2006.

Cultivar	-----Montecillo-----		-----San Pablo-----		-----Cd. Serdan-----	
	g MS mm ⁻¹	g G mm ⁻¹	g MS mm ⁻¹	g G mm ⁻¹	g MS mm ⁻¹	g G mm ⁻¹
Tarragona Amarilla 1	0.29 b ^z	0.13 bc	0.73 bcd	0.23 bcde	1.11 abcde	0.57 abcde
Tarragona Amarilla 2	0.41 ab	0.11 c	0.94 abc	0.17 cde	0.75 cdef	0.37 def
Tarragona Amarilla 3	0.32 b	0.12 c	0.80 bcd	0.25 abcde	1.13 abcd	0.62 abc
Parraleña	0.37 ab	0.17 bc	0.88 abc	0.12 e	1.12 abcde	0.62 abc
Blanca	0.49 ab	0.17 bc	0.55 bcd	0.11 e	1.17 abc	0.73 a
Pico de Orizaba	-----	-----	-----	-----	1.43 a	0.59 abcd
Juchitepec	0.35 ab	0.16 bc	0.95 ab	0.35 ab	-----	-----
Cochinera Morada	0.35 ab	0.12 c	1.24 a	0.42 a	1.27 ab	0.64 ab
Cochinera Montecillo	0.57 a	0.39 a	0.64 bcd	0.31 abcd	1.03 abcdef	0.55 abcde
San Pedro	0.44 ab	0.20 bc	0.51 cd	0.19 bcde	0.88 bcdef	0.45 bcdef
San Isidro	0.43 ab	0.21 bc	0.44 d	0.14 de	0.61 f	0.28 f
Monarca	0.42 ab	0.16 bc	0.74 bcd	0.28 abcde	0.85 cdef	0.40 cdef
Diamante	0.37 ab	0.19 bc	0.90 abc	0.32 abc	0.69 ef	0.34 ef
V-31	0.33 b	0.14 bc	0.65 bcd	0.26 abcde	0.64 f	0.25 f
V-35	0.47 ab	0.27 ab	0.64 bcd	0.26 abcde	0.72 def	0.29 f
Promedio	0.4	0.18	0.76	0.25	0.95	0.47
DSH_{0.05}	0.24	0.15	0.43	0.18	0.43	0.23

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

Cuadro 14. Eficiencia en el uso de la radiación (EUR) para la producción de materia seca (g MS MJ⁻¹) y rendimiento de grano seco (g G MJ⁻¹) de cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo. Primavera 2006.

Cultivar	RFA	-----EUR-----	
	MJ m ⁻²	g MS MJ ⁻¹	g G MJ ⁻¹
Tarragona Amarilla 1	2729.30	0.09 b ^z	0.04 bc
Tarragona Amarilla 2	2685.14	0.13 ab	0.03 c
Tarragona Amarilla 3	2715.35	0.10 ab	0.04 bc
Parraleña	2829.11	0.12 ab	0.05 bc
Blanca	2701.80	0.16 ab	0.05 bc
Juchitepec	2627.82	0.12 ab	0.05 bc
Cochinera Morada	2862.99	0.11 ab	0.03 c
Cochinera Montecillo	2846.25	0.18 a	0.12 a
San Pedro	2779.68	0.14 ab	0.07 bc
San Isidro	2729.30	0.14 ab	0.07 bc
Monarca	2762.94	0.13 ab	0.05 bc
Diamante	2846.25	0.11 ab	0.06 bc
V-31	2542.77	0.11 ab	0.05 bc
V-35	2542.77	0.15 ab	0.09 bc
Promedio	2728.67	0.12	0.06
DSH_{0.05}		0.07	0.04

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

3.7. Eficiencia en el uso de la radiación

En Montecillo la radiación fotosintéticamente activa (RFA) interceptada durante el desarrollo de los cultivares osciló entre 2542.77 y 2862.99 MJ m⁻², mostrando cambios significativos en el uso de la RAF para MS y rendimiento de semilla (Cuadro 14). Así, la eficiencia en el uso de la radiación (EUR) promedio fue de 0.3 g MS MJ⁻¹ y 0.06 g G MJ⁻¹. La mayor EUR para biomasa se encontró en Cochinera Montecillo siendo el doble del valor más bajo encontrado en Tarragona Amarilla 1. En tanto la menor producción de semilla por MJ interceptado se encontró en Cochinera Morada y Tarragona Amarilla 2 con 0.03 g G MJ⁻¹, mientras que este valor fue cuatro veces mayor en Cochinera Montecillo que presenta la mayor EUR con 0.12 g G MJ⁻¹ (Cuadro 14).

3.8. Variables en experimentos individuales

3.8.1. Rendimiento en vaina verde o legumbre

3.8.1.1. Montecillo

El análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas entre los cultivares evaluados para el número de vainas (NV) y rendimiento de vaina (RV) y significativas para longitud de vaina (LV) y peso unitario de vaina (PV). La anchura de vaina (AV) no se observó cambios significativos (Cuadro 15 y 16).

De los cultivares evaluados 3 superan en RV al cultivar local (Cochinera Montecillo), sobresaliendo de manera significativa Blanca con un RV de 510 g m⁻², seguida de San Isidro y V-35 con 503 y 499 g m⁻², respectivamente. Cochinera Morada, Juchitepec, Parraleña, Diamante y V-31 presentaron un RV superior a 300 g m⁻². El rendimiento más bajo correspondió a Tarragona Amarilla 1, 2 y 3 con 239, 287 y 290 g m⁻², respectivamente (Cuadro 16).

El NV por m^2 en promedio fue de 43.2, con un máximo de 60.4 para Cochinera Montecillo y un mínimo de 32.3 para Cochinera Morada, que junto con Parraleña, Tarragona Amarilla 1 y Tarragona Amarilla 3 presentaron los valores más bajos (37.1, 35.7, 35.5 m^{-2} , respectivamente). Blanca que alcanzó el RV más alto, presentó un NV intermedio con 40.5 m^{-2} ; V-35 mostró el PV más alto (en promedio 12.5 g), el cultivar local además de Tarragona Amarilla 1 y Tarragona Amarilla 2 mostraron el PV más bajo con 7.4, 6.1 y 5.9 g, respectivamente (Cuadro 15).

La AV de 13 cultivares fue superior a 20 mm, solo Tarragona Amarilla 2 mostró un AV menor con 19.6 mm, siendo este mismo cultivar y Blanca los de menor LV con 7.4 y 6.9 cm, respectivamente, siendo en promedio 23.6% menor que San Isidro (9.3 cm) que presentó la mayor LV. Diamante, Monarca, Tarragona Amarilla 3, San Pedro, Parraleña, V-35 y Tarragona Amarilla 1 se agruparon en una LV entre 8 y 9 cm (Cuadro 15).

3.8.1.2. San Pablo

En San Pablo la LV y AV de los diferentes cultivares no presentó diferencias estadísticas significativas. La LV osciló entre 7.02 (Tarragona Amarilla 1) y 9.25 (San Isidro). La AV presentó en promedio 16.3 mm (Cuadro 15).

El RV presentó diferencias significativas, tomando como rendimiento relativo (100%) el alcanzado por el cultivar local (Cochinera Montecillo), se puede observar que el mayor RV lo presentó Monarca (946 $g m^{-2}$), superando a Cochinera Montecillo en 41%. Aunque en menor grado Juchitepec y Tarragona Amarilla 3 también presentaron incrementos con 9.1 y 8.0%, respectivamente. Blanca solo alcanzó el 43 y 31% de lo encontrado en Cochinera Montecillo y Monarca, respectivamente. Parraleña, Cochinera Morada y Tarragona Amarilla 3 presentaron un rendimiento similar entre ellos con 468, 461 y 443 $g m^{-2}$ (Cuadro 16).

Generalmente un mayor NV corresponde a un PV menor y viceversa. Por una relación negativa entre ambas variables ($r=-0.40^{**}$, $n=56$). Tarragona Amarilla 1, 2 y 3 presentaron similitudes en PV oscilando entre los 9.5 y 10 g, siendo Monarca y San Isidro, los de el valor más alto con 20.4 y 18 g, respectivamente. En Cochinera Montecillo se encontró el menor PV con 8.7 g, sin embargo presentó el mayor NV con 78, más del doble que Blanca (22.6 vainas m^{-2}) (Cuadro 15).

3.8.1.3. Cd. Serdán

El RV, LV, AV, NV y PV presentaron diferencias significativas entre los cultivares a un nivel de $P=0.01$. La LV osciló entre 5.9 y 8.8 cm. En Pico de Orizaba se encontró el mayor largo de vaina siendo de 8.8 cm, presentando similitudes estadísticas con Tarragona Amarilla 1, San Pedro, Monarca, Diamante, V-31 y V-35, los cuales en promedio tienen una longitud de 8.3 cm. Un valor medio entre 7.0 y 7.5 cm presentaron los cultivares San Isidro, Tarragona Amarilla 2 y 3, Cochinera Morada y Parraleña. La menor LV con 6.2 y 5.9 cm correspondió a Cochinera Montecillo y Blanca, respectivamente (Cuadro 15 y 16).

Por otra parte, la AV más alta se encontró en los cultivares Pico de Orizaba, San Pedro y Tarragona Amarilla 3 con 23.4, 21.3 y 21.1 mm, respectivamente, superando en un 6% en promedio a San Isidro, Monarca y Diamante, quienes presentaron una AV que osciló entre 20.1 y 20.9 mm. Cochinera Montecillo mostró la menor AV con 16.4 mm, 7 mm menos que el valor más alto (Cuadro 15).

Cuadro 15. Longitud de vaina (LV), anchura de vaina (AV), peso de vaina (PV) y número de vainas (NV) de cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. Primavera 2006.

Cultivar	Montecillo				San Pablo				Cd. Serdán			
	LV (cm)	AV (mm)	PV (g)	NV (m ²)	LV (cm)	AV (mm)	PV (g)	NV (m ²)	LV (cm)	AV (mm)	PV (g)	NV (m ²)
Tarragona Amarilla1	8.1 ab ^z	21.8 a	6.2 b	35.7 b	7.0 a	13.0 a	9.5 b	69.6 ab	8.3 a	19.7 bcde	11.0 ab	68.9 bc
Tarragona Amarilla 2	7.4 ab	19.6 a	5.9 b	44.2 ab	7.5 a	16.6 a	9.9 ab	43.6 ab	7.0 ab	19.4 bcde	13.1 a	62.8 c
Tarragona Amarilla 3	8.6 ab	21.0 a	8.2 ab	35.5 b	8.6 a	15.5 a	10.0 ab	70.7 ab	7.5 ab	21.1 abc	10.8 ab	76.2 bc
Parraleña	8.4 ab	22.5 a	8.9 ab	37.2 b	7.9 a	18.9 a	15.8 ab	31.2 ab	7.5 ab	17.5 de	8.6 ab	69.3 bc
Blanca	6.9 b	22.9 a	12.4 a	40.5 ab	7.8 a	14.3 a	9.8 ab	29.1 b	5.9 b	17.8 cde	10.3 ab	82.3 abc
Pico de Orizaba	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	8.8 a	23.4 a	11.9 ab	64.7 bc
Juchitepec	7.8 ab	21.6 a	8.2 ab	42.6 ab	8.1 a	18.4 a	17.6 ab	40.2 ab	-----	-----	-----	-----
Cochinera Morada	7.9 ab	20.6 a	9.9 ab	32.3 b	9.1 a	18.9 a	11.2 ab	46.8 ab	7.5 ab	18.4 cde	9.2 ab	113.1 a
Cochinera Montecillo	7.8 ab	23.0 a	7.5 ab	60.4 a	7.5 a	14.0 a	8.7 b	78.0 a	6.2 b	16.4 e	6.4 b	71.5 bc
San Pedro	8.5 ab	21.6 a	8.6 ab	48.5 ab	8.6 a	18.5 a	16.1 ab	35.3 ab	8.2 a	21.3 ab	9.9 ab	98.0 ab
San Isidro	9.3 a	20.3 a	9.8 ab	52.9 ab	9.2 a	15.5 a	18.0 ab	34.3 ab	7.0 ab	20.1 abcd	13.8 a	60.7 c
Monarca	8.7 ab	20.2 a	8.9 ab	48.4 ab	9.0 a	20.1 a	20.4 a	45.9 ab	8.3 a	20.5 abcd	8.8 ab	74.4 bc
Diamante	8.9 ab	20.5 a	7.7 ab	44.4 ab	9.2 a	15.2 a	12.3 ab	45.7 ab	8.4 a	20.9 abc	11.7 ab	56.1 c
V-31	7.9 ab	22.0 a	8.9 ab	42.5 ab	7.9 a	13.3 a	12.9 ab	60.3 ab	8.2 a	19.2 bcde	11.1 ab	68.5 bc
V-35	8.2 ab	20.8 a	12.7 a	39.6 ab	8.2 a	15.0 a	16.9 ab	37.4 ab	8.1 a	19.7 bcde	10.9 ab	76.9 bc
Promedio	8.2	21.3	8.8	43.2	8.2	16.3	13.6	47.8	7.7	19.6	10.6	74.2
DSH_{0.05}	2.3	4.6	5.6	22.6	2.5	9.4	10.7	48.6	1.7	3.4	6.0	34.8

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

Cochinera Morada presentó el RV más alto con 1037 g m⁻², seguida de San Pedro y Blanca con 922 y 844 g m⁻², respectivamente, superando al cultivar utilizado por el productor (Pico de Orizaba) en un 34, 19 y 9%, respectivamente. Cochinera Montecillo logró el más bajo RV que representó el 44% del total logrado por Cochinera Morada (Cuadro 16). Así mismo, este último cultivar presentó el mayor NV por m² (113.1) y un PV intermedio de 9.2 g. San Isidro presentó el mayor PV (13.8 g), pero uno de los valores más bajos en NV (60.7 por m²) (Cuadro 15). Existiendo un coeficiente de correlación entre el NV y PV de r=-0.47** (n=56).

Así, el cultivar de mayor producción fue específico para cada región, Blanca, Monarca y Cochinera Morada mostraron mayor RV en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente con de 510, 946 y 1037 g m⁻². El rendimiento medio de cultivares y regiones fue de 578 g m⁻², siendo Cd. Serdán y el cultivar San Pedro los más sobresalientes (sin incluir los cultivares Juchitepec y Pico de Orizaba que se sembraron en dos y una región, respectivamente) (Cuadro 16).

Cuadro 16. Rendimiento de vaina verde en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. Primavera 2006.

Cultivar	Montecillo	San Pablo	Cd. Serdán	Promedio
	-----Rendimiento (g m ⁻²)-----			----g m ⁻² ----
Tarragona Amarilla 1	239 b ^z	668 ab	693 bc	533
Tarragona Amarilla 2	287 ab	443 ab	773 abc	501
Tarragona Amarilla 3	290 ab	724 ab	826 ab	613
Parraleña	331 ab	468 ab	598 bc	465
Blanca	510 a	290 b	844 ab	547
Pico de Orizaba	-----	-----	772 abc	772
Juchitepec	327 ab	732 ab	-----	529
Cochinera Morada	318 ab	461 ab	1037 a	590
Cochinera Montecillo	440 ab	671 ab	456 c	522
San Pedro	418 ab	574 ab	922 ab	666
San Isidro	503 a	597 ab	768 abc	622
Monarca	413 ab	946 a	670 bc	676
Diamante	332 ab	550 ab	656 bc	512
V-31	382 ab	614 ab	763 abc	586
V-35	499 a	633 ab	836 abc	656
Promedio (g m⁻²)	378	598	758	578
DSH_{0.05}	254.6	611.4	332.1	

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

De manera general (todos los datos de las 3 regiones) se observa en la Figura 5A y B, que la LV y AV no influyen en el rendimiento ya que su coeficiente de determinación es menor al 10% ($R^2 < 0.1$). Los caracteres que más se relacionaron con la producción fueron el NV y PV con un $R^2 = 0.65^{**}$ y 0.45^{**} , respectivamente (Figura 5C y D). Las ecuaciones que describen esta relación son de tipo lineal y polinomial. Bazoglu *et al.* (2002) encontraron que el mayor rendimiento en verde correspondió a aquellos cultivares que presentaban una mayor longitud, diámetro y anchura de vaina. Sin embargo, Chavez y de Leon (2000), relacionan el rendimiento con un incremento en el número de vainas ($R^2 = 0.47$).

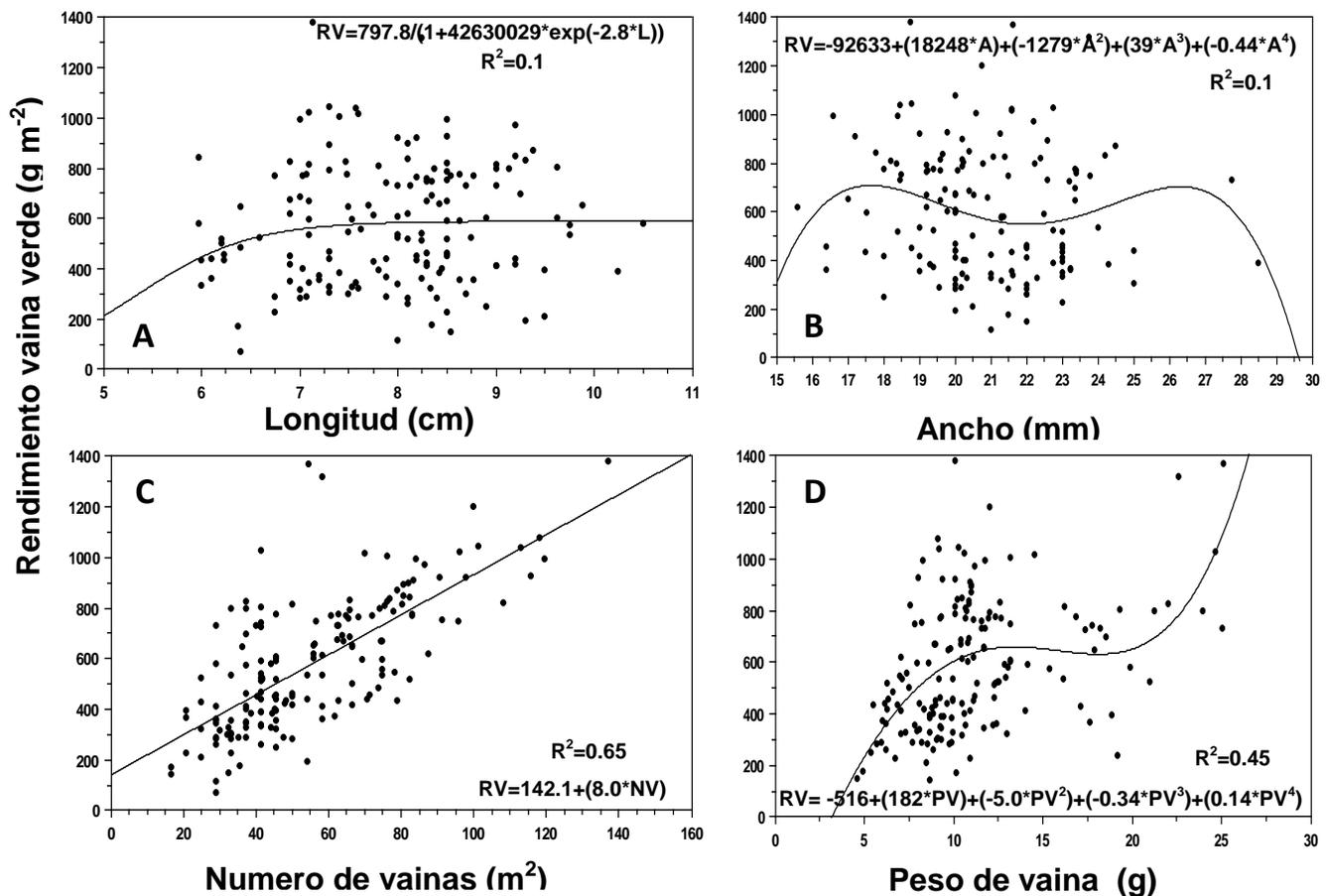


Figura 5. Relación entre el rendimiento de vaina verde (RV) y la longitud de vaina (LV) (A), anchura de vaina (AV) (B), número de vainas (NV) (C) y peso de vaina (PV) (D) en diferentes cultivares de haba (n=168). Primavera 2006.

3.9. Acumulación de materia seca total y su distribución en los diferentes órganos de la planta

3.9.1. Montecillo

A la madurez fisiológica (MF) los cultivares evaluados presentaron en la acumulación de materia seca total por m^2 (AMSTO) diferencias altamente significativas ($P=0.01$) (Figura 6). Siendo Cochineria Montecillo y Blanca donde se encontró la AMSTO más alta con 224 y 186 $g\ m^{-2}$. En Cochineria Montecillo los frutos con 76% fueron los de mayor aporte a la AMSTO (debido a un mayor amarre de frutos cercano al 52%). En contraste, Blanca presentó una mayor altura de planta además de que la tasa de senescencia foliar se retrasó aportando el material vegetativo un 57% a la AMSTO (Cuadro 17). Sin embargo, estos resultados son inferiores a los encontrados en la misma región por Pichardo (2005) y Morales (2007) esto se debió a una mayor distribución de la precipitación y superó en 43 y 17% a la registrada en este trabajo. En Tarragona Amarilla 1 se observó la AMSTO más baja con 111 $g\ m^{-2}$ (Figura 6).

En relación a la distribución de materias seca (MS) en todos los cultivares la hoja presentó el menor porcentaje (oscilando entre el 4 y 11%). Tendencias similares encontraron Guadarrama (2002) y Morales (2007). En cuanto al tallo, Cochineria Morada mostró la mayor acumulación con 53% y Cochineria Montecillo la menor con 21% (Figura 6). Lo anterior se debe a la partición de nutrimentos, ya que en Cochineria Morada la mayor parte se acumulo en el tallo dejándose de distribuir a órganos reproductivos (menor número racimos florales, Cuadro11) caso contrario sucedió en Cochineria Montecillo donde la mayor acumulación fue en órganos reproductivos. Coincidiendo con Pichardo (2005) y Morales (2007), quienes reportan una mayor eficiencia del cultivar Cochineria Montecillo en traslocar fotosintatos a la semilla.

La acumulación de MS en el pericarpio fue en promedio 9% oscilando entre el 5% (9 $g\ m^{-2}$) y 19% (23 $g\ m^{-2}$) (Figura 6). Resultados similares (promedio de 9.8%) reportan

Guadarrama (2002), Pichardo (2005) y Morales (2007), en diferentes cultivares de haba (Diamante, San Pedro y Cochinerá Montecillo).

La acumulación de MS en la semilla promedió el 44%. Cochinerá Montecillo fue el más eficiente en transportar MS a la semilla con 68% (153 g m⁻²) (Figura 6), presentando una relación peso semilla/peso pericarpio (PS/PP) al igual que Parraleña de 9, sugiriendo que estos cultivares cuentan con un peso unitario de pericarpio bajo. Contrastando con Tarragona Amarilla 2, Tarragona Amarilla 3 y Morada que de acuerdo a la relación PS/PP tienen el mayor peso unitario de pericarpio, sin embargo la menor acumulación de MS en la semilla con 27, 38 y 28%, respectivamente (Cuadro 17). Lo anterior, sugiere que la acumulación de MS en la semilla encontrada en Cochinerá Montecillo y V-35 tiene principal atención como un criterio específico de selección de estos cultivares. Los cultivares con mayor acumulación de MS en partes vegetativas (hoja y tallo) presentan menor acumulación en frutos (pericarpio y semilla) (Cuadro 17).

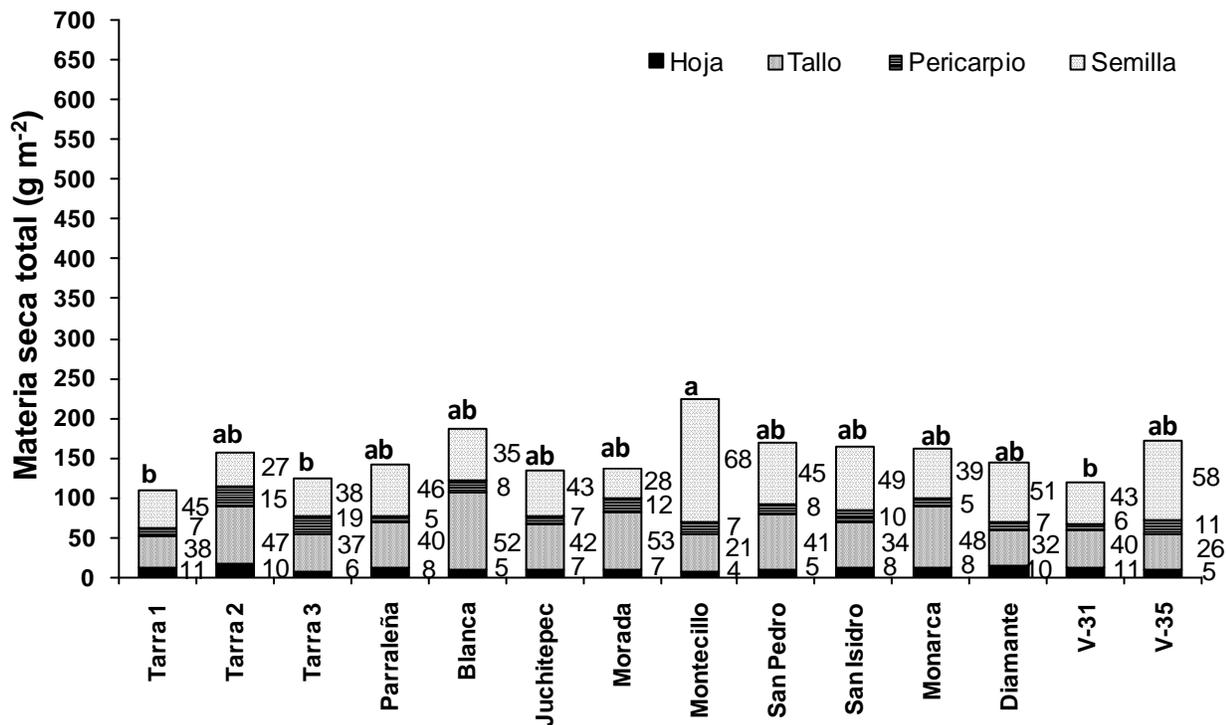


Figura 6. Acumulación de materia seca total y su distribución (%) en los diferentes órganos de la planta en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo. Primavera 2006. Valores con la misma letra sobre cada barra son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05.

3.9.2. San Pablo

La AMSTO mostró diferencias significativas ($P < 0.05$) siendo en promedio de 378 g m^{-2} , inferior a lo encontrado por Escalante y Rodríguez (2002 ab), diferencias atribuidas a las distintas densidades de población utilizadas en los experimentos. La mayor AMSTO se encontró en Cochinera Morada con 617 g m^{-2} . San Isidro presentó la menor con 220 g m^{-2} . La distribución de MS en los diferentes órganos de la planta se muestra en la Figura 7.

El porcentaje representado por la semilla mostró variaciones entre los cultivares fluctuando entre 14% y 49% valores similares a los observados por Escalante y Rodríguez (2002 ab) y superiores a los encontrados por Navarro *et al.* (2007) en diferentes estudios con haba. El índice de cosecha (IC) más alto se encontró en los cultivares V-31, V-35 y Cochinera Montecillo (40, 41 y 49%, respectivamente), teniendo un porcentaje de pericarpio entre 10 y 11. Parraleña mostró la menor acumulación de MS en la semilla (IC) y uno de los más bajos porcentajes de pericarpio con 14 y 6%, respectivamente (Figura 7). Los cultivares Tarragona Amarilla 3 y Monarca mostraron los porcentajes más altos en pericarpio y una relación baja entre el peso semilla/peso pericarpio (PS/PP). Esto indica que estos cultivares tienen vainas muy gruesa o vainas grandes con semillas pequeñas. La relación PS/PP de 5 que presentó Cochinera Montecillo se explica por qué las vainas son delgadas (Cuadro 17).

En el Cuadro 17 se puede observar que el peso de los frutos expresado en porcentaje representó entre el 20 y 60% del peso total y el material vegetativo fluctuó entre el 40 y 80% indicando que en los cultivares existen diferencias en acumular asimilados principalmente en el tallo o transportarlos a frutos. Siendo Blanca, Tarragona Amarilla 2 y Parraleña los cultivares que más acumularon MS en el tallo con 72, 75 y 78%, respectivamente (Figura 7).

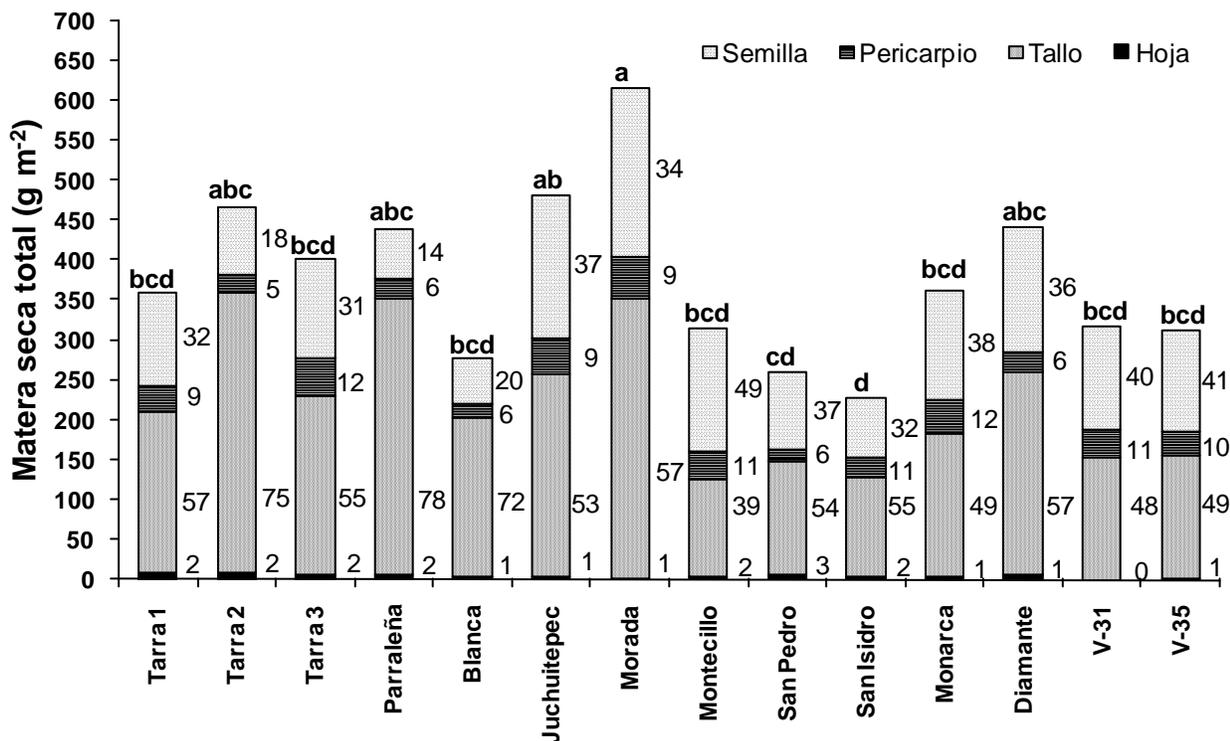


Figura 7. Acumulación de materia seca total y su distribución (%) en los diferentes órganos de la planta en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en San Pablo. Primavera 2006. Valores con la misma letra sobre cada barra son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$.

3.9.3. Cd. Serdán

La AMSTO en Cd. Serdán mostró diferencias altamente significativa ($P < 0.01$) entre cultivares siendo en promedio de 454 g m^{-2} de la cual el fruto representó el 71% y el material vegetativo el 29% (Figura 8 y Cuadro 17). Así, la mayor AMSTO se encontró en Pico de Orizaba (678 g m^{-2}) seguida de Cochineria Morada (624 g m^{-2}) (Figura 8). Esto se debe principalmente a la mayor altura del tallo al momento de la cosecha (Figura 3C).

La contribución de MS de hoja fue mínima, ya que en los cultivares osciló entre 0 y 1%. Mientras que el tallo y pericarpio presentaron en promedio un porcentaje de MS similar entre ellos con 29 y 21%, respectivamente (Figura 8), siendo Pico de Orizaba el que más acumulo en el tallo (por la altura alcanzada) y V-31 en el pericarpio sugiriendo que

este cultivar muestra un pericarpio más grueso en relación a los cultivares restantes lo cual se comprueba con la baja relación PS/PP que presenta (Cuadro 17).

Por otra parte, Blanca fue más eficiente en acumular MS en la semilla reflejándose en un IC más alto (62.5%). La acumulación de MS en la semilla en los cultivares Tarragona Amarilla 1, 2 y 3, Parraleña, Cochinerá Morada y Montecillo y San Pedro osciló entre 50–55%. Los menos eficientes fueron V-31 y Pico de Orizaba (cultivar local) con 38y 41%, respectivamente, lo que indica que la acumulación de MS fue en otros órganos (Figura 8).

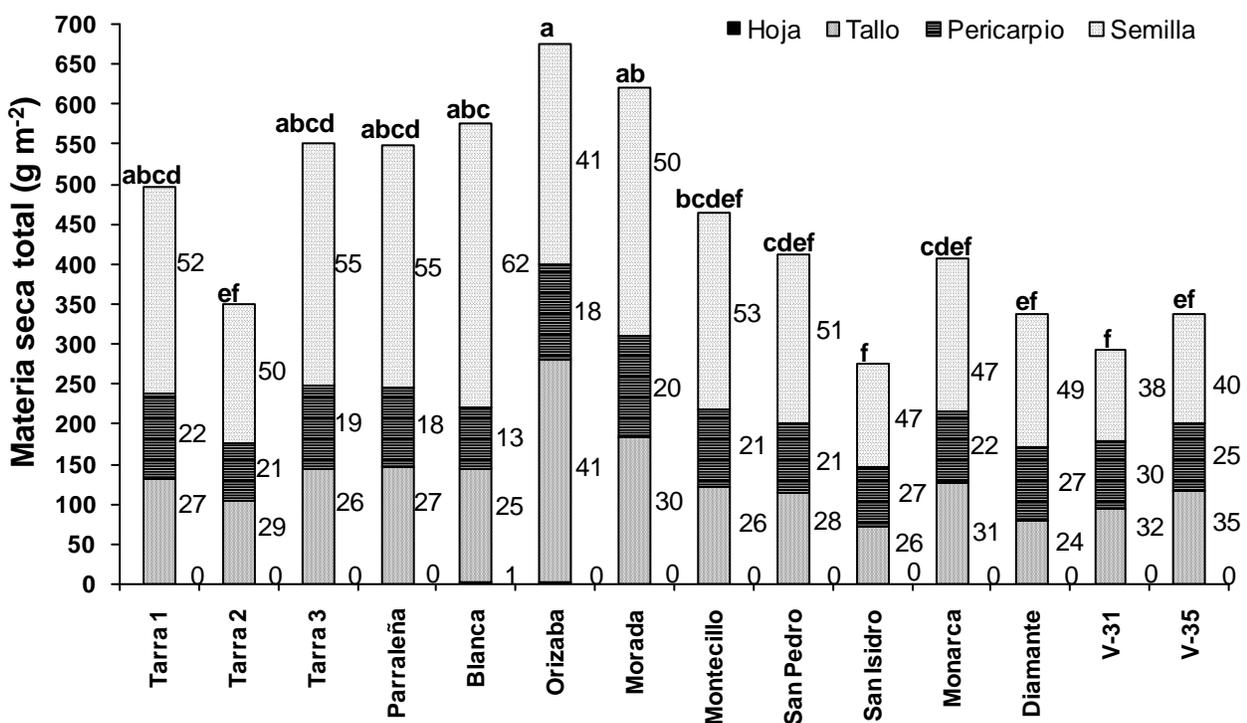


Figura 8. Acumulación de materia seca total y su distribución (%) en los diferentes órganos de la planta en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Cd. Serdán. Primavera 2006. Valores con la misma letra sobre cada barra son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$

Cuadro 17. Porcentaje de materia seca en el material vegetativo (MV) y fruto y relación peso de semilla/peso de pericarpio (PS/PP) en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. Primavera 2006.

Cultivar	Montecillo			San Pablo			Cd. Serdán		
	MV	Fruto	PS/PP	MV	Fruto	PS/PP	MV	Fruto	PS/PP
	-----%-----			-----%-----			-----%-----		
Tarragona Amarilla 1	48	52	6	59	41	4	27	73	2
Tarragona Amarilla 2	57	43	2	77	23	4	30	70	2
Tarragona Amarilla 3	44	56	2	57	43	3	26	74	3
Parraleña	49	51	9	80	20	2	27	73	3
Blanca	57	43	4	74	26	3	25	75	5
Pico de Orizaba	-----	-----	-----	-----	-----	-----	42	58	2
Juchitepec	49	51	6	54	46	4	-----	-----	-----
Cochinera Morada	60	40	2	57	43	4	30	70	3
Cochinera Montecillo	24	76	9	40	60	5	26	74	3
San Pedro	47	53	6	57	43	7	28	72	2
San Isidro	42	58	5	56	44	3	26	74	2
Monarca	56	44	7	50	50	3	31	69	2
Diamante	42	58	7	59	41	6	24	76	2
V-35	51	49	7	48	52	4	32	68	1
V-31	32	68	5	50	50	4	35	65	2

3.10. Índice de cosecha, rendimiento de grano seco y sus componentes

3.10.1. Montecillo

El análisis de varianza del rendimiento de grano seco (RGS), número de vainas (NV), número de semillas (NS), peso de semilla (P30S) e índice de cosecha (IC) fue altamente significativo entre cultivares (Cuadro 18)

El NV osciló entre 25.2 y 85.1 siendo los cultivares más productores de vainas Cochineria Montecillo (cultivar local) y San Pedro con 85.1 y 64.1 vainas m⁻², respectivamente (Cuadro 18). Estos valores son más bajos a los encontrados por Pichardo (2005) en un estudio con haba Cochineria Montecillo y San Pedro y similares a lo reportado por Morales (2007) en los cultivares Cochineria Montecillo y Diamante. Juchitepec y Cochineria Morada presentaron menor NV con 25.2, 70% inferior al cultivar local.

El NS más alto se encontró en Cochineria Montecillo (154), los cultivares restantes que presentaron 55 semillas m^{-2} en promedio, encontrándose en V-31 el menor NS (44.8) (Cuadro 18). Estos resultados difieren de los encontrados por Guadarrama (2002), Pichardo (2004) y Morales (2007) debido a las condiciones ambientales presentes en los diferentes años, principalmente el régimen pluvial en la etapa reproductiva.

Tarragona Amarilla 2, Blanca, Monarca y V-35 mostraron el mayor P30S con 38.7 g, en promedio superando al cultivar local en 22% (30.5 g). Parraleña, Cochineria Morada, Cochineria Montecillo y San Pedro formaron el grupo de menor P30S con 29.7, 29.7, 30.5 y 35.5 g, respectivamente (Cuadro 18). Resultados similares encontró Morales (2007) en los cultivares Cochineria Montecillo y Diamante y superiores a lo reportado por Pichardo (2005) en Cochineria Montecillo y San Pedro, estas diferencias pueden asociarse al NV ya que generalmente al incrementarse el NV disminuye el peso medio de semilla (Morales *et al.*, 2002; Musallam *et al.*, 2004 e Idris, 2008). El IC osciló entre 28 y 70% (44% en promedio). Cochineria Montecillo fue el más eficiente en transportar materia seca a la semilla con el 70%. Valores inferiores fueron reportados por Pichardo (2005) y Morales (2007).

Así, debido al mayor NV, NS e IC encontrado en Cochineria Montecillo se incrementó el RGS siendo de 153 $g m^{-2}$. Los cultivares restante mostraron un RGS de 63.3 $g m^{-2}$ en promedio. Tarragona Amarilla 2 presentó el menor RGS con 43.2 $g m^{-2}$ (Cuadro 18).

3.10.2. San Pablo

En San Pablo el RGS, NV, NS, IC y P30S de los cultivares en este estudio mostró cambios significativos (Cuadro 19).

El NV y NS osciló entre 36.8 a 119 y de 38.5 a 156.6, respectivamente. El mayor NV (119) y NS (156.6) se encontró en Cochineria Morada superando en 26.7 y 15.7%, respectivamente a Cochineria Montecillo (cultivar local) (Cuadro 19). Un NV y NS similar encontró Escalante y Rodríguez (2002 b) en la misma región pero con 15

plantas m⁻². El P30S alcanzó valores entre 31.3 y 50.1 g, siendo el valor más alto para Juchitepec superando en 14.4% al cultivar local que presentó un P30S de 35.7 g. El valor más bajo correspondió a San Isidro (Cuadro 19).

Cochinera Morada y Juchitepec mostraron el mayor RGS con 210.6 y 178.7 g m⁻² superando al cultivar local en 27 y 15%, respectivamente. Resultados similares encontró Escalante y Rodríguez (2002ab) en diferentes estudios con haba y superiores a los de Navarro *et al.* (2007). Blanca presentó el menor RGS (56.7 g m⁻²) e IC (18%). Cochinera Montecillo mostró el mayor IC con 48%, superior a lo reportado por Escalante y Rodríguez (2002 ab) lo cual puede asociarse a la mayor biomasa total encontrada por estos autores.

Cuadro 18. Rendimiento de grano seco y sus componentes e índice de cosecha en cultivares de haba sembrados bajo condiciones de temporal en Montecillo. Primavera 2006.

Cultivar	RGS ---g m ⁻² ---	NV -----m ⁻² -----	NS -----	P30S -----g-----	IC -----%-----
Tarragona Amarilla 1	49.8 b ^z	35.0 bc	42.3 b	34.5 abc	43 bc
Tarragona Amarilla 2	43.2 b	31.5 bc	34.6 b	37.4 abc	28 c
Tarragona Amarilla 3	46.9 b	33.6 bc	45.3 b	31.0 bc	38 bc
Parraleña	65.7 b	39.2 bc	68.2 b	29.7 c	45 abc
Blanca	65.3 b	37.8 bc	49.8 b	39.4 ab	35 bc
Juchitepec	58.5 b	25.2 c	54.2 b	32.7 abc	45 abc
Cochinera Morada	47.9 b	25.2 c	38.7 b	29.7 c	30 bc
Cochinera Montecillo	153.0 a	85.1 a	154.0 a	30.5 c	70 a
San Pedro	76.7 b	64.1 ab	65.0 b	35.5 c	45 abc
San Isidro	80.9 b	48.3 abc	77.6 b	31.2 bc	50 abc
Monarca	62.8 b	37.8 bc	47.3 b	41.0 a	40 bc
Diamante	73.9 b	38.9 bc	66.4 b	33.3 abc	50 abc
V-31	51.3 b	40.6 bc	44.8 b	35.8 abc	43 bc
V-35	99.6 b	58.8 abc	84.0 b	37.1 abc	55 ab
Promedio	69.6	42.9	62.3	34.2	43.9
DSH_{0.05}	58.8	38.8	60.4	9.3	27.0

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %. RS=rendimiento de grano seco, NV=número de vainas, NS=número de semillas, P30S=peso de treinta semillas, IC=índice de cosecha.

Cuadro 19. Rendimiento de grano seco y sus componentes e índice de cosecha en cultivares de haba, sembrados bajo condiciones de temporal en San Pablo. Primavera 2006.

Cultivar	RGS	NV	NS	P30S	IC
	----g m ⁻² ----	-----m ⁻² -----		---g---	----%----
Tarragona Amarilla 1	116.6 bcd ^z	73.5 ab	77.1 abc	45.8 a	33 abc
Tarragona Amarilla 2	85.3 cd	52.5 b	67.6 bc	38.3 a	18 c
Tarragona Amarilla 3	124.6 abcd	84.0 ab	99.1 abc	38.8 a	30 abc
Parraleña	63.0 d	46.2 b	38.5 c	49.7 a	18 c
Blanca	56.7 d	36.8 b	52.0 bc	34.6 a	23 bc
Juchitepec	178.7 ab	71.4 ab	119.0 ab	50.1 a	40 ab
Cochinera Morada	210.6 a	119.0 a	156.6 a	44.4 a	30 abc
Cochinera Montecillo	154.5 abc	87.2 ab	132.0 ab	35.7 a	48 a
San Pedro	96.9 bcd	38.9 b	73.8 bc	40.2 a	38 ab
San Isidro	73.6 cd	45.2 b	71.8 bc	31.3 a	33 abc
Monarca	137.3 abcd	48.3 b	109.0 abc	37.7 a	38 ab
Diamante	147.6 abcd	65.1 ab	125.0 ab	37.9 a	33 abc
V-31	128.6 abcd	60.9 b	88.6 abc	44.4 a	40 ab
V-35	127.1 abc	56.7 b	102.0 abc	40.8 a	43 a
Promedio	122.2	63.3	93.8	40.7	33.2
DSH_{0.05}	88.5	55.2	80.8	22.5	19.0

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %. RS=rendimiento de grano seco, NV=número de vainas, NS=número de semillas, P30S=peso de treinta semillas, IC=índice de cosecha.

3.10.3. Cd. Serdán

El análisis de varianza para RGS, NS, NV y P30S mostró cambios significativos entre cultivares (Cuadro 20).

Blanca presentó el RGS más alto con 357.4 g m⁻² (3.57 ton ha⁻¹) y fue asociado con un mayor NV por m² (171.1) e IC (62%), no así con el NS por m² (182.6) y P30S (58.8). El peso medio del grano es de gran importancia para los agricultores de la región ya que consideran que a mayor peso de la semilla mayor rendimiento (Díaz y Herrera, 2004).

En Cochinera Montecillo se encontró el NS más alto (273.7 m²) y un menor NV m⁻² (133.3) y tamaño de semilla (0.89 g), lo que generó en consecuencia un RS bajo (Cuadro 20). Esto contrasta con lo reportado por Pichardo *et al.* (2007), quienes en un estudio de cultivares encontraron que Cochinera Montecillo mostró el rendimiento más

alto. Esto puede asociarse a que este cultivar presenta una adaptación específica al ambiente local (Ceretta *et al.*, 1998). En V-31 se encontró el RS más bajo (1.1 ton ha⁻¹) que se relacionó con un NV m⁻² (55.65) e IC (0.39) bajo. El mayor peso medio por semilla (2.6 g) se encontró en Tarragona Amarilla 2 pero un menor NV y NS por m² (57.7 y 68.7, respectivamente) que se reflejó en un bajo RS (174.6 g m⁻²) (Cuadro 20).

Así, existe variabilidad en la producción de semilla de haba para cada región. En Montecillo el mayor RGS fue en Cochinera Montecillo (cultivar local) por un incremento en los grados días desarrollo (GDD), área foliar (AF), eficiencia en el uso del agua (EUA), eficiencia en el uso de la precipitación (EUP), eficiencia en el uso de la radiación (EUR), AMSTO, NV, NS e IC. En San Pablo la EUA, EUP fue más alta en Cochinera Morada (cultivar introducido), incrementando la AMSTO y el RGS y componentes (NV, NS y P30S). Cd. Serdán presentó el RGS más alto con Blanca (cultivar introducido) debido a la mayor acumulación de calor (GDD), AF, número de racimos (NR) y EUP para semilla, así como NV e IC.

Cuadro 20. Rendimiento de grano seco y sus componentes e índice de cosecha en cultivares de haba, sembrados bajo condiciones de temporal en Cd. Serdán. Primavera 2006.

Cultivar	RGS	NV	NS	P30S	IC
	-----g m ⁻² -----	-----m ⁻² -----	-----m ⁻² -----	-----g-----	-----%-----
Tarragona Amarilla 1	258.2 abcd ²	10.3 bc	119.2 bcd	65.0 bc	51 abc
Tarragona Amarilla 2	174.7 def	57.8 c	68.5 d	76.8 a	50 abc
Tarragona Amarilla 3	302.8 abc	105.0 bc	135.4 bcd	67.1 b	54 ab
Parraleña	301.1 abc	89.3 bc	153.5 bc	59.1 d	55 ab
Blanca	357.4 a	171.2 a	182.6 b	58.9 d	62 a
Pico de Orizaba	276.9 abcd	120.8 abc	130.9 bcd	63.4 c	41 bc
Cochinera Morada	313.0 ab	117.6 abc	177.6 b	52.9 e	50 abc
Cochinera Montecillo	245.7 abcd	133.4 ab	273.7 a	26.9 i	53 abc
San Pedro	212.1 bcdef	91.4 bc	100.7 cd	63.1 c	51 abc
San Isidro	129.5 f	69.3 bc	116.3 bcd	33.4 h	48 abc
Monarca	190.8 cdef	102.9 bc	136.3 bcd	41.9 fg	47 bc
Diamante	167.3 def	71.4 bc	101.1 cd	49.7 e	49 abc
V-31	113.2 f	55.7 c	87.8 cd	38.7 g	39 c
V-35	135.8 ef	59.9 c	92.0 cd	44.3 f	42 bc
Promedio	227.1	96.1	134.0	53.0	49.6
DSH_{0.05}	113.75	65.53	73.37	5.77	15.8

²Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %. RGS=rendimiento de grano seco, NV=número de vainas, NS=número de semillas, P30S=peso de treinta semillas, IC=índice de cosecha.

3.11. Interacción genotipo (cultivar) × ambiente

3.11.1. Análisis de varianza combinado

Los resultados del análisis de varianza combinado para el rendimiento y sus componentes de trece cultivares de haba y tres ambientes se presenta en el Cuadro 21. Se observa la existencia de diferencias altamente significativas para los efectos principales de cultivares (C) y ambientes (A). El análisis combinado detectó además diferencias significativas para los efectos de la interacción cultivar por ambiente (C × A) (Cuadro 21).

Así, el análisis de varianza sugiere que para RGS, AMSTO, NV, NS, P30S e IC por lo menos un ambiente presentó diferencias a los restantes. De igual manera la diferencia entre cultivares que al menos uno es sobresaliente del resto (Cuadro 21).

En lo que se refiere a la interacción C × A, se sugiere que el comportamiento de los cultivares en los ambientes evaluados es diferente y que el RGS, AMSTO, NV, NS, PS e IC de un cultivar está determinado por el ambiente de desarrollo, ya que algunos cultivares muestran valores más altos mientras que en otros disminuye al cambiar el ambiente.

La existencia de efectos significativos para la interacción C × A son similares a los resultados de interacción encontrados por Polignano *et al.* (1989), Oblea (1995), Link *et al.* (1996), Flores *et al.* (1996) y Cantun (2005) en haba. En este sentido Eberhart y Russell (1966), Cruz *et al.* (1989) y Sneller *et al.* (1997) concluyen que un genotipo que tiene una expresión estable en ensayos conducidos en varios ambientes contribuye poco sobre la magnitud de la interacción genotipo×ambiente, destacando la necesidad de identificar esos cultivares estables con alto potencial de rendimiento.

Cuadro 21. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado y su significancia estadística para el rendimiento de grano seco y sus componentes e índice de cosecha.

Fuente de Variación	GL	RGS	BT	NV	NS	P30S	IC
Ambiente	2	317807.3**	1118692.4**	32716.4**	65545.4**	4308.0**	0.543**
Rep*ambiente	9	942.7	7803.5	846.3	601.5	43.2	0.007
Cultivar	12	11162.3**	44217.2**	2986.8**	11902.4**	407.6**	0.060**
Cultivar*ambiente	24	12488.6**	28348.8**	2324.9**	4026.4**	300.8**	0.035**
Error	108	1317.5	4612.4	457.8	802.2	29.2	0.007
CV (%)		26.4	21.1	31	31	12.8	20.4
Media general		137.2	320.4	67.1	96.5	42.1	0.41

**=P≤0.01, GL=grados de libertad, CV=Coeficiente de variación, RGS=rendimiento de grano seco, MST=materia seca total, NV=número de vainas, NS=número de semillas, P30S=peso de treinta semillas, IC=índice de cosecha.

Cuadro 22. Representación porcentual de la suma de cuadrados (SC) del rendimiento de grano seco y sus componentes e índice de cosecha, que corresponde a la SC total.

Fuente de Variación	G L	RGS	MST	NV	NS	P30S	IC
Ambiente	2	52.10	55.70	30.56	28.34	35.49	31.03
Rep*ambiente	9	0.70	1.75	3.56	1.17	1.60	1.89
Cultivar	12	10.98	13.21	16.74	30.87	20.15	20.85
Cultivar*ambiente	24	24.57	16.94	26.06	20.89	29.74	24.22
Error	108	11.66	12.40	23.09	18.73	13.03	22.01

GL=grados de libertad, RGS=rendimiento de grano seco, MST=materia seca total, NV=número de vainas, NS=número de semillas, P30S=peso de treinta semillas, IC=índice de cosecha.

3.11.1.1. Efecto de ambientes

De acuerdo con el análisis de varianza el ambiente captura entre el 28 y 56% respecto a la suma de cuadrados total (Cuadro 22). El Cuadro 23 presenta el RGS y sus componentes medidos por localidad. La AMSTO, NV, NS, P30S e IC fue de 320 g m⁻², 67 m⁻², 96 m⁻², 42 g y 41% en promedio, respectivamente.

El RGS osciló entre 70 y 223 g m⁻² el cual fue afectado por la distribución de lluvias en las distintas etapas fenológicas de los cultivares (Cuadro 23). Montecillo fue el ambiente con el RGS promedio más bajo (70 g m⁻²), atribuido a la cantidad y distribución de la precipitación, ya que del total (392 mm) solo el 38% se presentó en la etapa de floración y llenado de grano. Lo que sugiere que este comportamiento de la precipitación fue determinante en la producción de haba en esta localidad. Oliveira (1995), Cantun (2005), Oblea (1995) y Ortiz *et al.* (1984) concluyen que un suministro

adecuado de agua especialmente en el periodo reproductivo es importante para lograr un rendimiento más alto.

En San Pablo y Cd. Serdán se logró un RGS de 118 y 223 g m⁻², respectivamente, el cual se relacionó con la cantidad de precipitación ocurrida durante el periodo reproductivo de haba. Así, San Pablo registró un 31% del total de la precipitación durante el periodo de llenado de grano (R6–R11) en contraste, Cd. Serdán registró el 49% (Figura 1B y C). Grashoff (1991) menciona que el suministro de agua después de la floración es importante para respuestas altas y estables en el rendimiento de grano.

3.11.1.2. Efecto de cultivares

El análisis de varianza para el RGS y sus componentes mostró diferencias altamente significativas entre cultivares para el RGS y sus componentes, logrando capturar para el RGS, AMSTO, NV, NS, PS e IC el 11, 13, 17, 31, 20 y 21% de la suma de cuadrados total del análisis de varianza, respectivamente (Cuadro 22).

En el Cuadro 23 se muestra la media del RGS de las tres localidades. De los cultivares la mayor AMSTO, NV, NS, P30S e IC se encontró en Cochinera Morada, Cochinera Montecillo, Cochinera Montecillo, Tarragona Amarilla 2 y Cochinera Morada, respectivamente. La mayor AMSTO en Cochinera Morada se relacionó con una mayor duración del ciclo de crecimiento siendo en promedio de 183 días además de que presentó la mayor EUA promedio para la producción de materia seca. El mayor NV y NS que presentó Cochinera Montecillo se asocia principalmente al peso medio de semilla, siendo este el más bajo entre los cultivares evaluados.

En lo que se refiere al RGS seis cultivares superaron al promedio general (137.2 g m⁻²), sobresaliendo de manera significativa Cochinera Morada con un RS de 191 g m⁻², por una mayor EUA promedio para la producción de semilla. Siguieron Cochinera Montecillo, Blanca; Tarragona Amarilla 3, Parraleña y Tarragona Amarilla 1 con rendimientos superiores a 140 g m⁻² (184, 160, 158, 144 y 142 g m⁻², respectivamente).

Un tercer grupo estuvo formado por Diamante, Monarca, San Pedro, V-35 y Tarragona Amarilla 2 los cuales presentaron un RS arriba de 100 g m⁻² (1 ton ha⁻¹). Los cultivares más afectados fueron V-31 y San Isidro con 98 y 95 g m⁻² (Cuadro 23).

Cuadro 23. Rendimiento de granos seco y sus componentes e índice de cosecha para cultivares de haba y ambientes en conjunto. Primavera 2006.

Cultivar o Ambiente	RGS		AMSTO		NV		NS		P30S		IC	
	g m ⁻²		m ⁻²		m ⁻²		g		%			
Tarragona Amarilla 1	141.5 ab ^z	(6)	323.5 abc	(7)	69.6 abc	(5)	79.5 bc	(11)	48.4 a	(2)	41.6 abc	(7)
Tarragona Amarilla 2	101.0 ab	(11)	326.2 abc	(6)	47.3 c	(13)	56.9 c	(13)	50.8 a	(1)	32.2 bc	(12)
Tarragona Amarilla 3	158.1 ab	(4)	359.7 abc	(3)	74.2 abc	(4)	93.3 bc	(6)	45.6 abc	(5)	40.0 bc	(9)
Parraleña	143.5 ab	(5)	377.7 ab	(2)	58.2 bc	(10)	86.7 bc	(9)	46.1 ab	(4)	39.5 bc	(10)
Blanca	159.8 ab	(3)	347.6 abc	(4)	81.9 abc	(3)	94.8 bc	(5)	44.3 abc	(6)	39.3 bc	(11)
Cochinera Morada	190.5 a	(1)	459.1 a	(1)	88.9 ab	(2)	127.6 b	(2)	42.3 abc	(7)	26.4 c	(13)
Cochinera Montecillo	184.4 ab	(2)	334.9 abc	(5)	101.9 a	(1)	186.4 a	(1)	31.0 c	(13)	56.8 a	(1)
San Pedro	128.6 ab	(9)	281.4 bc	(10)	64.8 abc	(6)	79.8 bc	(10)	46.3 ab	(3)	44.4 ab	(4)
San Isidro	94.7 b	(13)	223.9 c	(13)	54.3 bc	(11)	88.6 bc	(8)	32.0 bc	(12)	43.1 ab	(5)
Monarca	130.3 ab	(8)	305.0 bc	(9)	63.0 abc	(7)	97.6 bc	(3)	40.2 abc	(10)	41.7 abc	(6)
Diamante	132.9 ab	(7)	309.2 bc	(8)	58.5 bc	(9)	97.5 bc	(4)	40.3 abc	(9)	45.0 ab	(3)
V-31	97.7 ab	(12)	243.7 bc	(12)	52.4 bc	(12)	73.8 c	(12)	39.6 abc	(11)	40.7 bc	(8)
V-35	120.8 ab	(10)	274.6 bc	(11)	58.5 bc	(8)	92.6 bc	(7)	40.7 abc	(8)	46.5 ab	(2)
Promedio	137.2		320.5		67.2		96.5		42.1		41.3	
DSH_{0.05}	94.1		141.8		40.6		53.4		14.6		15.8	
Montecillo	70.5 c	(3)	155.4 c	(3)	44.7 c	(3)	63.7 c	(3)	34.3 c	(3)	43.6 b	(3)
San Pablo	117.9 b	(2)	370.2 b	(2)	62.6 b	(2)	91.8 b	(2)	39.9 b	(2)	30.1 c	(2)
Cd. Serdán	223.2 a	(1)	435.8 a	(1)	94.2 a	(1)	134.2 a	(1)	52.1 a	(1)	50.2 a	(1)
Promedio	137.2		320.5		67.2		96.5		42.1		41.3	
DSH_{0.05}	13.6		39.1		12.9		10.8		2.9		3.8	

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %. RGS=rendimiento de grano seco, MST=materia seca total, NV=número de vainas, NS=número de semillas, P30S=peso de treinta semillas, IC=índice de cosecha. Números entre parasteis es el lugar que ocuparon cultivares y ambientes.

3.12. Estabilidad de rendimiento de semilla por el modelo AMMI

El Cuadro 24 presenta el análisis de varianza del rendimiento de grano seco (RGS) así como el valor de los dos ejes principales de la interacción cultivar-ambiente (CxA), obtenida a través del modelo AMMI. Se observa que el ambiente (A) y cultivar (C)

mostraron un efecto altamente significativo ($P \leq 0.001$) con un 52 y 11% de la variación de la suma de cuadrados del total (SCT). La interacción CxA fue altamente significativa ($P \leq 0.001$), obteniéndose un 26% de la SCT. El AMMI mostró los dos primeros ejes (CP1 y CP2) altamente significativos ($P \leq 0.001$), explicando un 80 y 20% de la SC de la interacción, respectivamente. Así, el ambiente, cultivar e interacción obtuvieron el 88% de la SCT utilizando 48 grados de libertad (2 para ambientes, 12 para cultivares y 24 para CP1 y CP2) (Cuadro 24).

En el Cuadro 25 se presentan las puntuaciones o valores AMMI de los 13 cultivares y de los 3 ambientes. Los cultivares y ambientes con coordenadas elevadas sobre el CP consideradas en valor absoluto, contribuyen en mayor medida a la interacción CxA. Mientras que cultivares y ambientes con CP próximos a cero lo hicieron mínimamente. Los cultivares Blanca (C5) y Parraleña (C4) junto con el ambiente Cd. Serdán (A3) fueron los que más aportaron al primer eje de la interacción (CP1). Por otra parte, los cultivares Cochinera Morada (C6) y San Isidro (C9) junto con Montecillo contribuyeron en mayor medida al segundo eje de CP (CP2) (Figura 9).

Cuadro 24. Análisis de varianza según modelo AMMI para rendimiento de grano seco de cultivares de haba.

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados (SC)	% Suma de cuadrados
Total	155	122.00740	
Ambiente	2	63.56145***	52 ¹
Cultivar	12	13.39485***	11 ¹
C x A	24	29.97287***	26 ¹
CP1	13	24.1264***	80 ²
CP2	11	5.8465***	20 ²

***= $P \leq 0.001$, GL=grados de libertad, C=cultivar, A=ambiente. ¹ Respecto a al SC total ² Respecto a la SC de la interacción C x A

Cuadro 25. Puntuaciones de los dos ejes correspondientes a los componentes principales (CP) para el rendimiento de grano seco (RGS) según cultivar y localidad

Cultivar	RGS (ton ha ⁻¹)	Puntuación		Localidad	RGS (ton ha ⁻¹)	Puntuación	
		CP1	CP2			CP1	CP2
Tarragona Amarilla 1	1.41500	0.23527	-0.14104	Montecillo	0.70525	-0.58689	0.79776
Tarragona Amarilla 2	1.01033	-0.09561	0.04037	San Pablo	1.17873	-0.69125	-0.75549
Tarragona Amarilla 3	1.58092	0.45159	-0.22623	Cd. Serdán	2.23248	1.27815	-0.04227
Parraleña	1.43525	0.57536	0.28308				
Blanca	1.59783	0.88296	0.30055				
Cochinera Morada	1.90500	0.25999	-0.75963				
Cochinera Montecillo	1.84408	-0.18356	0.30847				
San Pedro	1.28583	-0.01387	0.17571				
San Isidro	0.94675	-0.38815	0.37775				
Monarca	1.30300	-0.20510	-0.16135				
Diamante	1.32917	-0.41092	-0.20643				
V-31	0.97667	-0.55732	-0.15587				
V-35	1.20817	-0.55063	0.16462				

En la Figura 10 se presenta la información de los efectos principales (cultivares y ambientes) y sus interacciones, en donde se consideró solamente el primer componente principal el cual aporta el 80% de la SC de la interacción. El eje de las abscisas refleja las diferencias entre rendimiento, mientras que el de las ordenadas (CP1) muestra el efecto de la interacción CxA. El grafico de doble entrada permitió detectar que los cultivares con mayor rendimiento (por encima de la media) y con una baja interacción CxA (CP1 con valores cercanos a cero) fueron: Cochinera Morada (C6), Cochinera Montecillo (C7) y Tarragona Amarilla 1 (C1), catalogándose como materiales estables. De la misma manera la localidad Cd. Serdán (A3) se caracterizo como un ambiente de rendimiento alto.

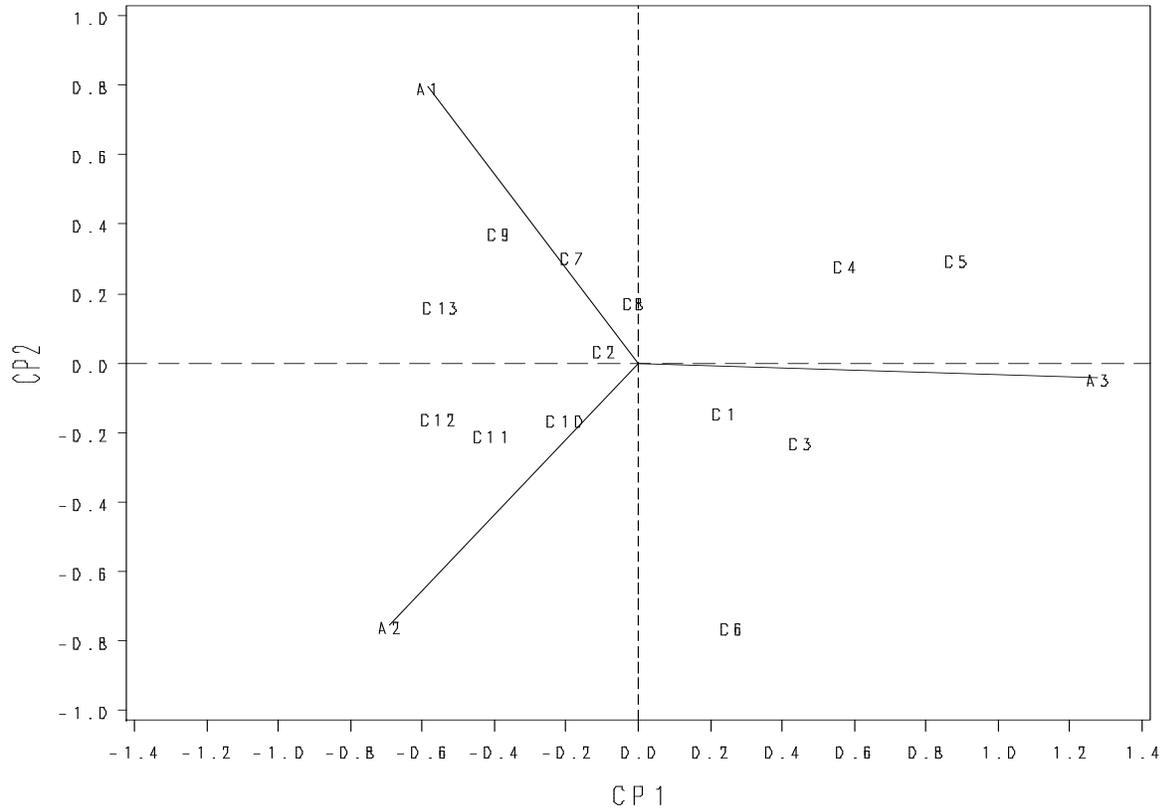


Figura 9. Doble representación Biplot de 13 cultivares de haba en 3 ambientes, según modelo AMMI.

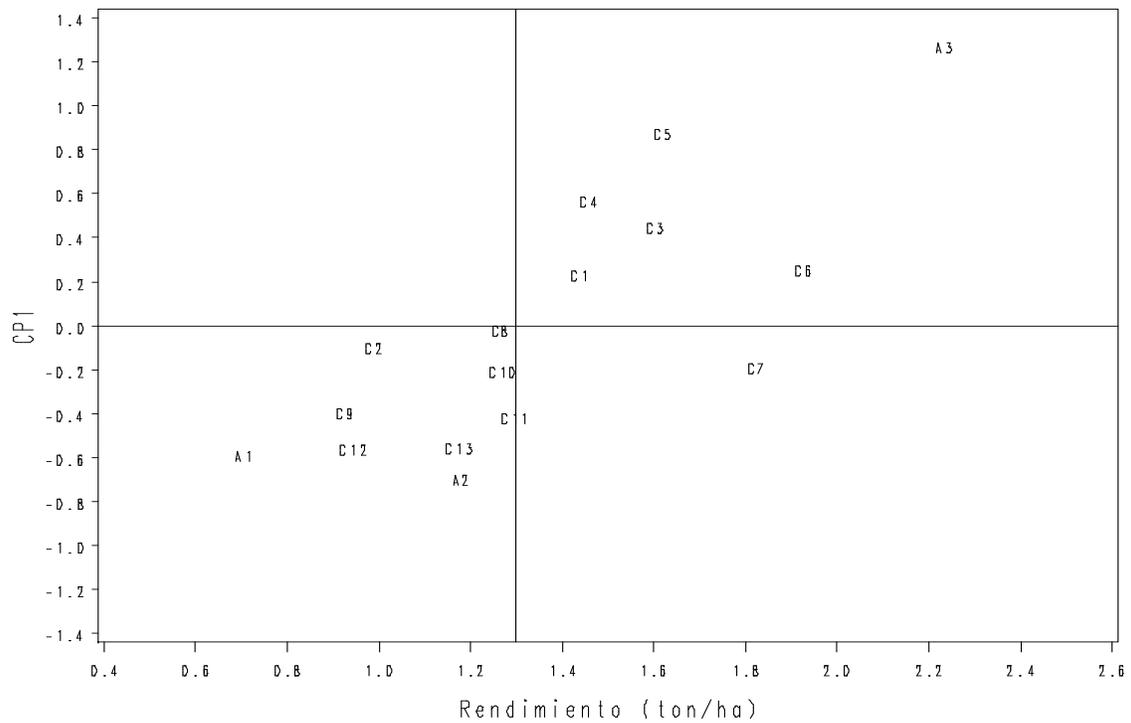


Figura 10. Grafica del rendimiento medio vs las coordenadas de cultivares y ambientes del CP1 según el modelo AMMI.

El cultivar con baja interacción CxA y rendimiento inferior a la media general fue Tarragona Amarilla 2 (C2). Con bajo rendimiento y alta interacción CxA tenemos a San Isidro (C9), V-31 (C12) y V-35 (C13).

San Pedro (C8), Monarca (C10) y Diamante (C11) presentaron un rendimiento cercano a la media. San Pedro (C8) tiene un bajo coeficiente de interacción muy cercano a cero y de acuerdo con Zobel (1990) se le considera estable (Figura 10).

Para analizar la respuesta de adaptación de los cultivares a los ambientes de evaluación se empleó la grafica GGE (modelo de regresión de sitios) (Figura 11). En el biplot GGE, cada genotipo fue representado como un punto o marcador y ambientes como vectores que se originan en la coordenada (0, 0). Los marcadores de los cultivares más alejados (mayor longitud) en el espacio bidimensional fueron Blanca (C5), San Isidro (C9), V-35 (C13), V-31 (C12) y Cochinera Morada (C6) los cuales se conectan mediante líneas rectas para formar un polígono. Estos cultivares vértices son los que mostraron los más altos y bajos rendimiento. Las líneas perpendiculares a partir del origen y que pasan por cada uno de los lados del polígono lo dividieron en cinco sectores. Los ambientes quedaron incluidos en tres de estos sectores. El cultivar que mejor se comporta en cada uno de los ambientes es según a la posición o cercanía a la que se encuentra de cada ambiente. Ejemplo de esto lo observamos con el cultivar Blanca (C5) que presentó un buen comportamiento en Cd. Serdán (A3) pero fue menor en San Pablo (A2), mientras que Cochinera Morada (C6) se comportó mejor en San Pablo (A2) pero bajo su rendimiento en Montecillo (A1) y Cd. Serdán (A3). Los cultivares dentro del polígono son los de menor respuesta a los ambientes evaluados y fueron más estables aquellos localizados cerca del origen del biplot, como Tarragona Amarilla 2 y Tarragona Amarilla 3 (C2 y C3, respectivamente) Los cultivares con coordenadas CP1 de signo negativo y generalmente alejados de los vértices ambiente, son los de menor rendimiento medio. Es decir los de rendimiento más bajo en todos los ambientes es este caso s San Isidro (C9), V-31 (C12) y V-35 (C13) (Figura 11).

Estudiando simultáneamente rendimiento y estabilidad en la Figura 11 podemos observar que el cultivar Blanca (C5) presenta un rendimiento medio alto (el mayor valor de la coordenada CP1) y fue relativamente estable (adaptación general) frente a todos los ambientes ensayados (menor valor absoluto de la coordenada CP2). Por lo tanto, es el cultivar ideal para continuar trabajando. Le siguen Parraleña (C4), Tarragona Amarilla (C3) y Taragona Amarilla (C1) como un segundo grupo de cultivares con alto rendimiento medio pero menor a Blanca (C5). Parraleña (C4) presenta estabilidad similar a Blanca (C5) pero menor rendimiento. Los cultivares C3 y C1 son más estables que los anteriores (menor valor CP2), sin embargo su rendimiento es más bajo (menor valor CP1). El cultivar Cochinera Morada (C6) presenta un rendimiento superior a la media y mayor interacción genotipo ambiente (mayor CP2).

El biplot (Figura 11) muestra en el extremo opuesto tres cultivares no adaptados a los ambientes de ensayo siendo San Isidro, V-31 y V-35 (C9, C12 y C13, respectivamente) con rendimiento muy bajo en todos los ambientes, puede destacarse V-31 (C12) como el menos adaptado dado que es el de menor rendimiento (menor coordenada CP1) y muy estable (baja coordenada CP2). Finalmente, los rendimientos medios de Taragona 2 (C2) y San Pedro (C8) estuvieron por debajo de la media general del ensayo ($CP1 < 0$) y ligeramente estable (baja coordenada CP2).

El biplot también muestra el rendimiento de cualquier cultivar en cualquiera de los ambientes por ejemplo: Cochinera Morada (C6) mostró un rendimiento medio por encima de la media general del ensayo ($CP1 > 0$) pero en el ambiente Montecillo (A1) mostró un rendimiento (0.47 ton ha^{-1}) inferior a la media de este ambiente (0.70 ton ha^{-1}).

En los ambientes San Pablo (A2) y Cd. Serdán (A3) el rendimiento de Cochinera Morada (C6) estuvo arriba de la media de cada uno de los ambientes. Según Yan *et al.* (2000) la forma de visualizar si un cultivar está por encima o por debajo de la media de un ambiente viene indicado por el ángulo virtual formado por las líneas que unen el origen con los respectivos cultivares y ambiente; así éste ángulo es obtuso dicho

cultivar rinde por debajo de la media ambiental y si el ángulo es agudo el rendimiento está por encima.

Con respecto a los ambientes el biplot muestra como Cd. Serdán (A3) fue el ambiente más discriminante a los cultivares y el que mejor refleja las diferencias entre cultivares en el rendimiento promedio de todos los ambientes ensayados (Figura 11).

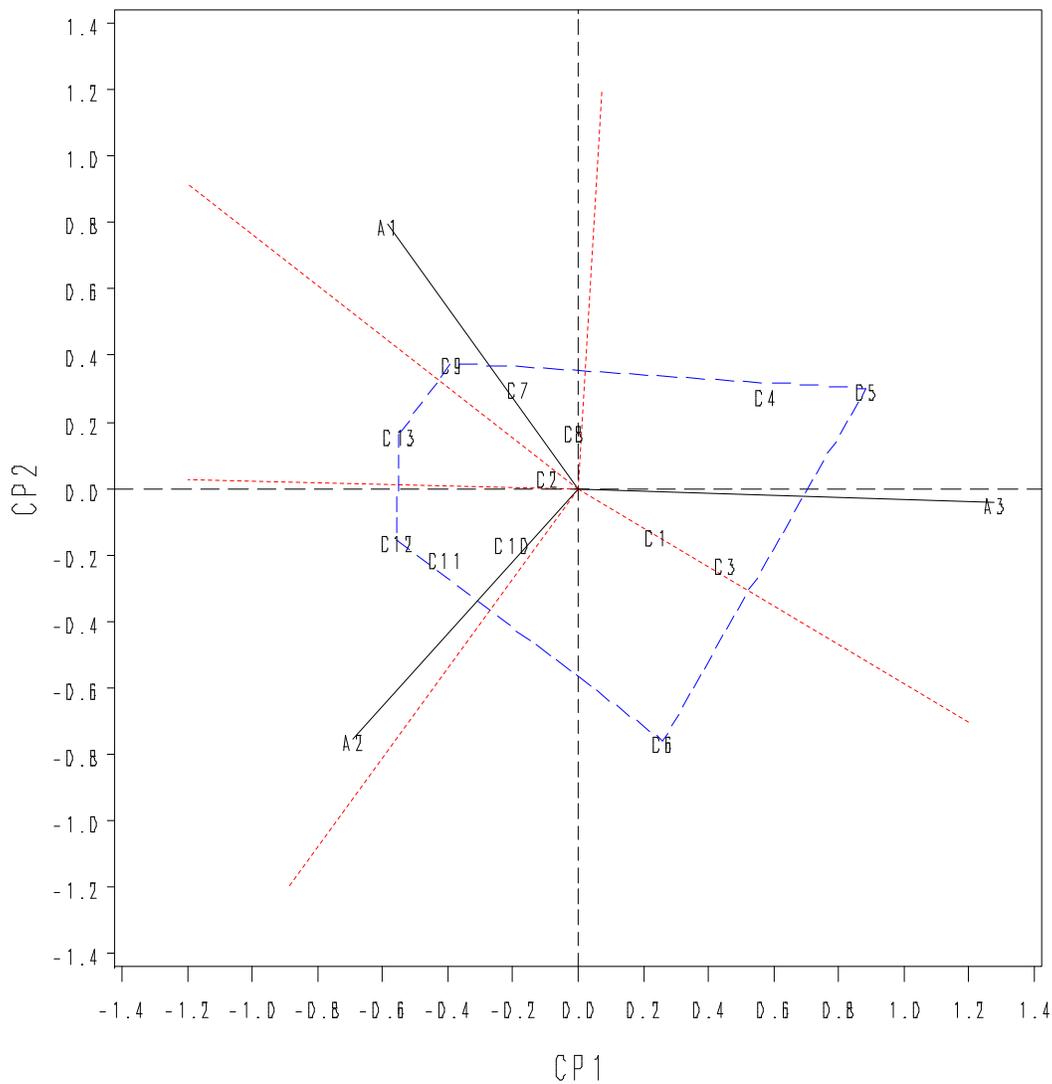


Figura 11. Puntuaciones del primer y segundo eje del componente principal de 13 cultivares de haba en 3 ambientes de México (Biplot GGE-SRGE).

IV. DISCUSIÓN GENERAL

El rendimiento (vaina verde y grano seco) de haba (*Vicia faba* L.) presenta una gran variación entre ciclos y ambientes, por lo que es necesario evaluar diferentes cultivares y ambientes no solo para aumentar la producción si no también su adaptabilidad. Al respecto, Martell y Díaz (2000) mencionan la importancia de introducir nuevas variedades de haba a diversas zonas agroecológicas y así encontrar aquellas que presenten la mayor productividad en comparación con las variedades tradicionales.

De los elementos del clima que modifican la fenología, grados-día y evapotranspiración en cultivares de haba fueron principalmente la precipitación (cantidad y distribución) y temperatura. En promedio Montecillo presentó un menor ciclo de cultivo (R11) con 131 días, en comparación con San Pablo (156 días) y Cd. Serdán (210 días) (Figura 2) que se relacionó con la precipitación total siendo de 397, 506 y 490 mm, respectivamente (Figura 1). Aunque en Cd. Serdán se presentó una menor precipitación con respecto a San Pablo, la temperatura media fue de 19.0 y 16.7 °C en San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadro 1 y 2 Apéndice). La temperatura y precipitación también influyeron en la altura de planta (AP) y número de nudos (NN), siendo más altos en San Pablo (Figura 3abc y 4abc). Recinos (1995) atribuyó una mayor AP en haba con un incremento en la humedad aprovechable. El máximo número de foliolulos (NF) y área foliar (AF) se encontró a los 89 días después de la siembra (dds) en Montecillo y San Pablo (Cuadros 8 y 9), mientras que en Cd. Serdán fue hasta los 132 dds (Cuadro 10). Estas diferencias se asociaron a cambios en el régimen hídrico ya que las primeras dos localidades alcanzaron una precipitación total a los 89 dds de 253 y 305 mm, respectivamente y en Cd. Serdán una precipitación similar (257 mm) se logró hasta los 132 dds (Figuras 1 abc). La mayor precipitación y ciclo de cultivo en Cd. Serdán incrementó la producción de vainas (NV) y por lo tanto el rendimiento de vaina verde (RVV) fue más alto. Un análisis de correlación (n=168) mostró que el NV ($R^2=0.65^{**}$) y peso de vaina ($R^2=0.45^{**}$) son los caracteres más relacionados con el RVV (Figura 5 cd), como lo sugiere Chavez y de Leon (2000). Así mismo, el cultivar de mayor

producción en vaina verde fue específico para cada región siendo los cultivares introducidos Blanca, Monarca y Cochinerá Morada para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán (Cuadro 16). La menor AF encontrada en Montecillo en comparación con San Pablo (Cuadros 8 y 9) generó una cobertura vegetal y tasa fotosintética más baja, disminuyendo la eficiencia en el uso del agua (EUA) para la producción de biomasa total (BT) y rendimiento de semilla (RS) (Cuadro 12). Pergolini *et al.*, (2004) encontraron una relación proporcional entre la evapotranspiración (ET_c) acumulada y la BT, como se observa en el cultivar local en Montecillo (Cochinerá Montecillo) y Cochinerá Morada en San Pablo los cuales presentaron una elevada ET_c (Cuadro 7) y mayor acumulación de BT (Figuras 6 y 7) y RS (Cuadro 18 y 19). Por lo tanto en estos cultivares pudo existir una mayor fijación de CO₂ por unidad de agua transpirada. Es decir, ante un mismo de agua Cochinerá Montecillo y Cochinerá Morada producen una mayor cantidad de BT y RS. La eficiencia en el uso de la precipitación (EUP) para BT y RS presentó un comportamiento similar siendo en promedio más alta en Cd. Serdán seguida de San Pablo. Montecillo registró la menor (Cuadro 13). Así, los cultivares con mayor EUP para BT presentaron una acumulación de materia seca total más alta, tal es el caso de los cultivares locales en Montecillo (Figura 6) y Cd. Serdán (Figura 7) y el cultivar introducido Cochinerá Morada en San Pablo (Figura 8). A la madurez fisiológica se esperaría que estos mismos cultivares presentaran el mayor RS, sin embargo solo ocurrió en Montecillo y San Pablo (Cuadro 18). En Cd. Serdán correspondió a Blanca, debido a que este cultivar fue más eficiente en translocar materia seca a la semilla como lo muestra el índice de cosecha (IC) más alto (Cuadro 18). En contraste el cultivar local (Pico de Orizaba) mostró de los cultivares evaluados la mayor acumulación de materia seca en el tallo en relación a hoja, pericarpio y semilla (Figura 8). El RGS más alto que mostró Cochinerá Montecillo en Montecillo se asoció a cambios en el número de vainas (NV), número de semillas (NS) e índice de cosecha (IC), así como grados-día, AF y un mejor uso de insumos. Mientras que en San Pablo, Cochinerá Morada mostró el RGS más alto por incrementos en el NV, NS y peso de treinta semillas (P30S). Entre ambientes el RGS se afectó por la distribución de la precipitación en las distintas etapas fenológicas de los cultivares. Montecillo fue la localidad con el RS más bajo, ya que del total de la precipitación (392 mm) solo el 38%

se presentó en la etapa de floración y llenado de grano. En San Pablo y Cd. Serdán se logró un RS de 118 y 223 g m⁻², respectivamente, relacionándose con la precipitación ocurrida en el periodo reproductivo. Así, San Pablo registró un 31% del total de la precipitación durante el periodo de llenado de grano, en contraste Cd. Serdán registró el 49%. Por lo tanto la cantidad y el comportamiento de la precipitación durante el desarrollo del cultivo es determinante en la producción de haba. Estudiando simultáneamente RS y estabilidad el modelo AMMI nos indica que el cultivar Blanca proporciona un RS alto y fue relativamente estable (adaptación general) frente a los ambientes ensayados. Por lo tanto Blanca es el cultivar recomendado para los “Valles Altos” o bien es el cultivar más cercano al ideal para continuar trabajando.

V. CONCLUSIONES

1. El crecimiento y producción de haba mostró variabilidad entre ambientes. De los elementos meteorológicos que más influyeron fueron la temperatura media y la precipitación, de ésta última la cantidad y distribución son las características más importantes que afectaron el ciclo de cultivo y altura de planta (AP), número de nudos (NN) y número de foliolulos (NF) por planta. En promedio la mayor acumulación de grados días desarrollo (GDD) y evapotranspiración real (ETc) se presentaron en Cd. Serdán. De los cultivares evaluados Cochinera Morada en Montecillo y Cd. Serdán presentaron el mayor ciclo de cultivo, GDD y ETc. En San Pablo correspondió a San Isidro.
2. La menor área foliar (AF) generada en Montecillo provocó una eficiencia en el uso del agua (EUA) y eficiencia en el uso de la precipitación (EUP) más baja en comparación con San Pablo. Ante un mismo consumo de agua Cochinera Montecillo y Cochinera Morada en San Pablo y Montecillo, respectivamente producen la mayor cantidad de materia seca y rendimiento de grano seco.
3. En ninguna localidad el cultivar local presentó el rendimiento de vaina verde (RVV) más alto. Bajo condiciones de temporal la producción de vaina verde varía en función de la precipitación. Para Montecillo y San Pablo se recomiendan cultivares de ciclo precoz a intermedio para obtener la mayor producción como Blanca y San Isidro en Montecillo y Monarca y Juchitepec en San Pablo. En Cd. Serdán el mayor RVV se produce al sembrar los cultivares Cochinera Morada o San Pedro que son de ciclo tardío. Los caracteres que más influyen en el RVV son en número de vaina y peso de vaina.
4. El comportamiento de la precipitación fue determinante en la acumulación de materia seca total (AMSTO) y rendimiento de grano seco (RGS). Cd. Serdán presentó los valores más altos. De los cultivares evaluados los locales en

Montecillo y Cd. Serdán presentaron la mayor AMSTO. En San Pablo fue Cochinera Morada. En el RGS la mayor adaptabilidad correspondió a Cochinera Montecillo (cultivar local) en Montecillo, Cochinera Morada (cultivar introducido) en San Pablo y Blanca (cultivar introducido) en Cd. Serdán.

5. Mediante el modelo AMMI se observó que el RGS se afectó significativamente por el cultivar, ambiente e interacción cultivar \times ambiente (C \times A). La interacción C \times A se explicó principalmente por los primeros componentes (CP1 y CP2). El gráfico Biplot GGE identificó a Cochinera Morada como el cultivar que mejor responde a estímulos ambientales y Blanca como el de mayor estabilidad. Por lo tanto éste podría ser el cultivar más apropiado para la producción de grano en los “Valles Altos” de México.

VI. LITERATURATURA CITADA

Adisarwanto T. and R. Knight. 1997. Effect of sowing date and plant density on yield and yield components in the faba bean. *Aus. J. Agric. Res.* 48 (8): 1161–1168.

Allard R. W. 1999. *Principles of Plant Breeding*. John Willey and Sons. New York.

Allard R. W. and A. D. Bradshaw. 1964. Implications of genotype environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Sci.* 4: 503–508.

Auld B. A., M. D. Dennett and J. Elston. 1978. The Effect of temperature changes on the expansion of individual leaves of *Vicia faba* L. *Annals of Botany* 42: 877–888.

Barriga P. 1996. Análisis genéticos estadísticos en los programas de mejoramiento por mutaciones inducidas. *In*. Biotecnología en relación con técnicas mutagénicas para el mejoramiento vegetal. Muñoz C. (ed). INIA/CCHEN, Santiago, Chile. Serie La Platina 64. pp.78–84.

Basford K. E. and M. Cooper. 1998. Genotype × environment interactions and some considerations of their implications for wheat breeding in Australia. *Aust. J. Agric. Res.* 49: 153–174.

Bäzinger M. and M. Cooper. 2001. Breeding for low input conditions and consequences for participatory plant breeding: Examples from tropical maize and wheat. *Euphytica* 122: 503–519.

Becker H. C. 1981. Correlation among some statistical measure of phenotypic stability. *Euphytica* 30: 835–840.

Boote K. J., M. I. Mínguez and F. Sau. 2002. Adapting the CROPGRO legume model to simulate growth of faba bean. *Agron. J.* 94: 743–756.

Bozoglu A. P., E. Peksen and A. Gülümser. 2002. Determination of green pod yield and some pod characteristics of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivar/lines grown in different row spacing. *Acta Hort.* 579:347–350.

Brady C. J., N. S. Scoot and R. Munns. 1974. The interaction of water stress with the senescence pattern of leaves. *In* Mechanisms of Regulation of Plant Growth. R. L. Biileski, A. R. Ferguson and M. M. Cresswell (Eds). *R. Soc. N. Z. Bull.* 12: 403–409.

Bucio–Alanis L. 1966. Environment and genotype–environmental components of variability. I. Inbred lines. *Heredity* 21: 387–397.

Cantun C. A. A. 2005. Estabilidad de rendimiento de 24 variedades de haba (*Vicia faba* L.) en seis ambientes en los Valles Altos de México. Tesis Licenciatura Especialista en Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 78 p.

Ceretta S., T. Abadie, H. Ozerami y M. Arbelbide. 1998. El uso de redes de experimentos para estudiar la adaptación de los cultivos. Universidad de la República, Facultad de Agronomía. CIRAD. Paysandú. Uruguay. pp. 9–13.

- Chavez G. A. y J. A. de Leon. 2000. Evaluación de cuatro densidades de siembra en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en monocultivo en tres localidades de Quetzaltenango. ICTA Región VI. Labor Ovalle.
- CIMMYT. 1989. An account of how priorities are set among mega-environments from breeding perspective. Internal Document Number 17. México, D.F.
- Cooper M. and P. N. Fox. 1996. Environmental characterization based on probe and reference genotypes. *In*. Plant Adaptation and Crop Improvement. Cooper M. and G. L. Hammer (eds). pp 529–547
- Cooper M., P. S. Brennan and J. Sheppard. 1996. A strategy for yield improvement of wheat which accommodates large genotype by environment interactions. *In*. Plant Adaptation and Crop Improvement. Cooper M. and G. L. Hammer (eds). pp. 487–512.
- Cornelius P. L., J. Crossa, and M. S. Seyedsadr. 1996. Statistical tests and estimators of multiplicative models for genotype-by-environment interaction. *In*. Genotype-by-environment Interaction. Kang M. S. and H. G. Gauch (eds). CRC Press, FL. pp. 199–234.
- Crossa I., H. Gauch and R. Zobel. 1990. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Sci.* 30: 493–500.
- Crossa J. 1990. Statical analyses of multilocations trials. *Adv. Agron.* 44:55–85.
- Crossa J. and P. L. Cornelius. 1997. Sites regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trial sites under heterogeneity of error variances. *Crop Sci.* 37: 406–415.
- Crossa J., P. L. Cornelius and W. Yan. 2002. Biplots of linear-bilinear models for studying crossover genotype x environment interaction. *Crop Sci* 42: 619–633.
- Cruz C. R. Torres and R. Vencovsky. 1989. An alternative and approach to the stability analyses proposed by Silva and Barreto. *Rev. Bras. Genet.* 12: 567–580.
- Cruz L. G. 1996. Regionalización agroclimática para cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en los valles altos de México. Tesis Licenciatura. Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 133 p.
- Cubero J. I. y F. Flores. 2005. Métodos estadísticos para el estudio de la estabilidad varietal en ensayos agrícolas. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. 186 p.
- Cubero J. I. y M. T. Moreno. 1983. Leguminosas de grano. Ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 356 p.
- Dale J. E. and J. L. Milthorpe. 1981. General features of the production and growth of leaves. *In* The growth and functioning of leaves. J. E. Dales and F. L. Milthorpe (ed). Cambridge Univerty Press. pp 151–159.
- Dantuma G., E. V. Kittlitz, M. Fraven and D. A. Bond. 1982. Yield, yield stability and measurements of morphological and phonological characters of faba bean (*Vicia faba* L.) varieties grow in a wide range of environments in western Europe. *Z. Pflanzenzüchtg* 90: 85–105.

- Davies W. J. 1978. Some effects of abscisic acid and water stress on stomata of *Vicia faba* L. J. Exp Bot. 29: 175–182.
- Davison J. L., K. R. Chistian, D. B. Jones and P. M. Bremner. 1985. Response of wheat to vernalization and photoperiod. Aust. J. Agric. Res. 36: 347–359.
- Day W. and B. J. Legg. 1978. Water relation and irrigation response. In *The faba bean: A Basic for Improvement*. Hebblethwaite P. D. (ed). London: Butterworths. pp. 217–232
- de la Vega A. J. y E. B. de la Fuente. 2003. Elección de genotipos. In *Producción de granos: bases funcionales para su manejo*. Satorre H. E. R. L. B. Arnold, G. A. Slafer, E. B. de la Fuente, D. J. Millares, E. Otegui y R. Savin (eds). Ed. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. pp 319–349.
- Dennett M. D., J. Elston and J. R. Milford. 1979. The effect of temperature on the growth of individual leaves of *Vicia faba* L. in the field. Annals of Botany 43: 197–208.
- Dennett M. D., J. R. Milford and J. Elston. 1978. The effect of temperature on the relative leaf growth rate of crops of *Vicia faba* L. Agric. Meteorol. 19 (6): 505–514.
- Díaz B. M. y B. E. Herrera. 2004. Caracteres morfológicos en la selección de semilla de haba en la sierra norte de Puebla. Revista Fitotecnia Mexicana 27 (1): 49–52.
- Dörffling K., D. Tietz, J. Stizeich and M. Ludewig. 1980. Studies on the role of abscisic acid in stomatal movements. In *Plant Growth Substances*. F. Skoog (ed). Berlin: Springer-Verlang. pp. 274–285.
- Durán R. R. y Sahagún C. J. 1992. La interacción genético-ambiental en la genotecnia vegetal. Revista Chapingo 16 (79–80): 13–16.
- Eberhart S. A. and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 6:36–40.
- El-bertagy A. D. and M. A. Hill. 1974. Effect water stress endogenous ethylene levels in *Vicia faba*. New Phytol. 73: 47 – 59.
- Ellis R. H, R. J. Summerfield and E. H. Roberts. 1988a. Effects of temperature, photoperiod and seed vernalization on flowering in faba Bean *Vicia faba*. Annals of Botany 61: 17–27.
- Ellis R. H., E. H. Roberts and R. J. Summerfield. 1988b. Variation in the optimum temperature for rates of seedling emergence and progress towards flowering amongst six genotypes of faba bean (*Vicia faba*). Annals of Botany 62: 119–126.
- Ellis R. H., G. Simon and S. Covell. 1987. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. III. A comparison of five faba bean genotypes at constant temperatures using a new screening method. J. Exp. Bot. 38: 1033–1043.
- El-Nadi A. H. 1969. Water relations of broad beans I. Effects of water stress on growth and flowering. Exp. Agric. 5: 195–207.

- Elston J., A. J. Karamanos, A. H. Kassam, R. M. Wadsworth. 1978. The water relations of the field beans crop. *Phil. Trans. R. Soc. Lon. B* 273: 581–591.
- Escalante, E. J. A. y M. T. Rodríguez G. 2002 a. Producción de haba (*Vicia faba* L.) en función del tamaño de la semilla y la aplicación fraccionada de nitrógeno. XXXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Torreón Coah. México.
- Escalante, E. J. A. y M. T. Rodríguez G. 2002 b. Producción de haba (*Vicia faba* L.) en función del nitrógeno, fósforo y densidad de población. XXXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Torreón Coah. México.
- Evans L. T. 1959. Environmental control of flowering in *Vicia faba* L. *Annals of Botany* 23: 521 – 546.
- Evans L. T. 1987. Short day induction of inflorescence initiation in some winter wheat varieties. *Aus. J. of Plant Physiol.* 14: 277–286.
- Evenson R. E., J. C. Otoole, R. W. Herdt, W. R. Coffman and H. E. Kauffman. 1978. Risk and uncertainty as factor in crop improvement research papers. The International Rice Research Institute. Manila Philippines.
- FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistical Database). 2007. Disponible en: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>. (Consulta: noviembre 23, 2007).
- Farah S. M. 1981. An examination of the effects of water stress on leaf growth of crops of field beans (*Vicia faba* L.). I. Crop growth and yield. *J. of Agric. Sci.* 96 (2): 327–336.
- Fehr W. R. and C. E. Caviness. 1977. Stages of soybean development. Special Report 80. Iowa State University, Ames, Iowa. 11 p.
- Finch-Savage W. E. and J. Elston. 1982. The effect of temperature and water stress on the timing of leaf death in *Vicia faba*. *Annals of Applied Biology.* 100 (3): 567–579.
- Finlay K. S. and G. N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742–754.
- Flores F., M. T. Moreno, A. Martinez and J. I. Cubero. 1996. Genotype-environment interaction in faba bean: comparison of AMMI and principal coordinate models. *Field Crops Res.* 47: 117–127.
- Ford M. A., R. B. Austin, W. J. Angus and G. C. M. Sage. 1981. Relationship between the response of spring wheat genotypes to temperature and photoperiodic treatments and their performance in the field. *J. Agric Sci. Camb.* 96: 623–634.
- Fox P. N., J. Crossa and I. Romagosa. 1997. Multi-environment testing and genotype x environment interaction. *In*. *Statistical Methods for Plant Variety Evaluation*. Kempton R. A. and P. N. Fox (eds). Chapman Hall, London. pp. 117–138.
- Free J. B. and I. H. Williams. 1976. Pollination as a factor limiting the yield of field beans (*Vicia faba* L.). *J. Agric. Sci.* 87: 395–399.

- Gabriel K. R. 1971. The biplot-graphical display of matrices with applications to principal components analysis. *Biometrika*. 58:453–467.
- García E. 2005. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª ed. Talleres offset Larios. México, D. F. 220 p.
- Gauch H. and R. Zóbel. 1996. AMMI analysis of yield trials. *In*. Genotype-by-Environment interaction. Kang M. S. and H. G. Gauch. (eds). CRC Press, Boca Ratón. pp. 85 – 122.
- Goudriaan J. and R. J. Bijlsma. 1987. Effect of CO₂ enrichment on growth of faba beans at two levels of water supply. *Neth. J. Agric. Sci.* 35 (2): 189–191.
- Grashoff C 1991 Effect of pattern of water supply on *Vicia faba* L. 3. Plant water relations, expansive growth and stomatal reactions. *Neth. J. Agric. Sci.*, 39, 247–262.
- Green C. F., P. D. Hebblethwaite D. A. Ison. 1985. A quantitative analysis of varietal and moisture status effects on the growth of *Vicia faba* in relation to radiation absorption. *Annals of Applied Biology* 106 (1): 143–155.
- Guadarrama Q. A., E. J. A. Escalante, M. T. G. Rodríguez, P. G. Sánchez y E. C. Sandoval. 2007. Biomasa, proteína, taninos y rendimiento en haba en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 25 (2): 145 – 154.
- Guadarrama, Q. A. 2002 Crecimiento, dinámica de floración y calidad del rendimiento de haba (*Vicia faba* L.). en función del nitrógeno y densidad de población. Tesis de Maestría, C. P. Montecillo, Méx. 106 p.
- Guerin V., J. C. Trinchant and J. Rigaud. 1990. Nitrogen fixation (C₂H₂ reduction) by broad bean (*Vicia faba* L.) nodules and bacteroids under water-restricted conditions. *Plant Physiol.* 92: 595–601.
- Herdina and J. H. Salisbury. 1989. Nodulation and early growth of faba bean (*Vicia faba* L.) and pea (*Pisum sativum* L.) as affected by strain of *Rhizobium*, NO⁻³ supply, and growth temperature. *Aust. J. Agric. Res.* 40: 991–1001.
- Husain M. M., J. B. Reid, H. Othman and J. N. Gallagher. 1990. Growth and water use of faba beans (*Vicia faba*) in a sub-humid climate. I. Root and shoot adaptations to drought stress. *Field Crops Res.* 23 (1): 1–17.
- Husain M. M., J. B. Reid, H. Othman, J. N. Gallagher. 1990. Growth and water use of faba bean (*Vicia faba* L.) in a sub-humid climate. I. Root and shoot adaptations to drought stress. *Field Crops Res.* 23: 1–17.
- Idris L. Y. A. 2008. Effect of seed size and plant spacing on yield and yield components of faba bean (*Vicia faba* L.). *Res. J. of Agric and Biol. Sci.* 4 (2): 146–148.
- Kantar F., C. J. Pilbeam and P. D. Hebblethwaite. 1996. Effect of tannin content of faba bean (*Vicia faba*) seed on seed vigour, germination and field emergence. *Annals Appl. Biol.* 128: 85–93.

- Karamanos A. J. 1978. Water stress and leaf growth of field Beans (*Vicia faba* L.) in the field: Leaf number and total leaf area. *Annals of Botany* 42: 1393–1402.
- Laing D. R. 1978. Adaptabilidad y estabilidad en el comportamiento de plantas de frijol común. Reunión de Discusión sobre viveros Internacionales de Rendimiento y Adaptación del frijol. CIAT. Cali. Colombia.
- Lawries A. C. and C. T. Wheeler. 1975. Nitrogen fixation in the root nodules of *Vicia faba* L. in relation to the assimilation of carbon. *New Phytologist*. 74: 429–436.
- Lin C., M. Binns and P. Lefkovitch. 1986. Stability analysis: Where do we stand?. *Crop Sci.* 26: 894–900.
- Link W., B. Schill and E. Kittlitz. 1996. Breeding for wide adaptation in faba bean. *Euphytica* 92: 185 – 190.
- Loos S. P. and K. H. M. Siddique. 1997. Adaptation of faba bean (*Vicia faba* L.) to dryland Mediterranean-type environments. I. Seed yield and yield components. *Field Crops Res.* 52: 17–28.
- Loos S. P., K. H. M. Siddique, R. Jettner and L. D. Martin. 1998. Response of faba bean (*Vicia faba* L.) to sowing rate in south-western Australia. I. Seed yield and economic optimum plant density. *Aust. J. Agric. Res.* 49: 989 – 997.
- Loos S. P., K. H. M. Siddique and L. D. Martin. 1997. Adaptation of faba bean (*Vicia faba* L.) to dryland Mediterranean-type environments II. Phenology, canopy development, radiation absorption and biomass partitioning. *Field Crops Res.* 52: 29–41.
- MACA. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios. 2000. El Cultivo de Haba en Bolivia. La Paz, Bolivia. 34 p.
- Manschadi A. M., J. Sauerborn, H. Stutzel, W. Gobel and M. C. Saxena. 1998. Simulation of faba bean (*Vicia faba* L.) growth and development under mediterranean conditions: Model adaptation and evaluation. *Eur. J. Agron.* 9: 273–293.
- Márquez S. F. 1992a. Genotecnia Vegetal. Métodos, Teoría, Resultados. Tomo II. AGT Editor, S. A. México.
- Márquez S. F. 1992b. Genotecnia Vegetal. Métodos, Teoría, Resultados. Tomo III. AGT Editor, S. A. México.
- Martell A. F. y A. J. Díaz. 2000. Ensayo para conocer la adaptación de 4 cultivares de haba. Proyecto leguminosas, estación experimental Andes. Bolivia. pp. 1–7.
- McDonald G. K., T. Adisarwanto and R Knight. 1994. Effect of time of sowing on flowering in faba bean (*Vicia faba*). *Aus. J. of Exp. Agric.* 34 (3): 395–400.
- Meneses R., H. Waaijennberg y L. Pierola. 1996. Las leguminosas en la agricultura Boliviana: Revisión de la información. Cochabamba, Bolivia. pp. 1–134.

- Molina C. J. L., L. F. García del Moral, J. M. Ramos, M. B. García del Moral, T. P. Jiménez, I. Romagosa, F. Roca de Togores. 1990. Quantitative phenotypical expression of three mutant genes in barley and the basis for defining an ideotype for Mediterranean environments. *Theor. Appl. Genet.* 80: 762–768.
- Monteith J. L. 1977. Climate. *In*. *Ecophysiology of Tropical Crops*. P. T. Alvim and T. Kozlowski (eds). Academic Press, New York. pp. 1–27.
- Morales R. A. 2007. Crecimiento y rendimiento de haba (*Vicia faba* L.) en función del acolchado plástico y residuos de girasol (*Helianthus annuus* L.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 108 p.
- Morales R. E. J., H. de la O, A. Morales y V. M. de la Cruz. 2002. Evaluación de cinco genotipos de haba (*Vicia faba* L.) con seis niveles de fósforo en Tecámac, México. *Ciencia Ergo Sum* 9 (2): 184 – 189.
- Moursi M. A., K. M. El-Habbasha and A. M. Shaheen. 1978. Photosynthetic efficiency, water and nitrogen contents of *Vicia faba* plant as influenced by water deficit. *Egyptian J. of Agron.* 1: 223–246.
- Müller U, K. Grimme, C. Meyer and W. Ehlers. 1986. Leaf water potential and stomatal conductance of field-growth faba beans (*Vicia faba* L.) and oats (*Avena sativa* L.). *Plant Soil* 93: 17–33.
- Musallam I. W., G. Al-Karaki, K. Ereifej, A. R. Al-Tawaha. 2004. Yield and yield components of faba bean genotypes under rainfed and irrigation conditions. *Asian J. Plant Sci.* 3 (4): 439–44.
- Nadal M. S. M. T. Moreno y J. I. Cubero. 2001. Las leguminosas grano en la agricultura moderna. Ed. Mundiprensa. Barcelona España. 318 p.
- Navarro G. H., M. A. Pérez y F. Castillo. 2007. Evaluación de cinco especies vegetales como cultivos de cobertura en Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (2): 151–157.
- Nerkar Y. S., D. Wilson and D. A. Lawes. 1981. Genetic variation in stomatal characteristics and behaviour, water use and growth of five *Vicia faba* L. genotypes under contrasting soil moisture regimes. *Euphytica* 30: 335–345.
- Oblea C. J. 1995. Estabilidad del rendimiento y algunos de sus componentes de 19 genotipos de haba (*Vicia faba* L.) en los Valles Altos de México. Tesis Licenciatura Especialista en Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 88 p.
- Oliveira C. F. 1995. Eficiencia en el uso de agua de dos leguminosas de grano de sistemas agrícolas de secano Mediterraneo. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Ortiz C. J., E. Solórzano y L. E. Mendoza O. 1984. Comportamiento de caracteres agronómicos y fisiotécnicos de diez colecciones de habas (*Vicia faba* L.) bajo diferentes condiciones ambientales. *Agrociencia* 55: 101-114.
- Pankhurst C. E. and J. I. Sprent. 1975. Effects of water stress on the respiratory and nitrogen-fixing activity of soybean roots nodules. *J. of Experimental Bot.* 26: 287–304.

- Pérez M. A. 2001. Control de maleza y rendimiento en los cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y haba (*Vicia faba* L.) en función de la incorporación de residuos de girasol y densidad de población. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Pergolini S. 2004. Efecto de la fertilización sobre el consumo y eficiencia en el uso del agua del cultivo de trigo. Tesis de licenciatura. Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía y Veterinaria. Córdoba, Argentina.
- Petersson A., M. H. Thomson, H. Hauggaard-Nielsen and A. B. Thomson. 2007. Potential bioethanol and biogas production using lignocellulosic biomass from winter rye, oilseed rape and faba bean. *Biomass and bioenergy* 31: 812–819.
- Pichardo R. J. C. 2005. Eficiencia en el uso del nitrógeno y calidad de rendimiento en haba (*Vicia faba* L.) con aplicación dividida de nitrógeno. Tesis Maestría, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México
- Pichardo R. J. C., A. Escalante y M. T. Rodríguez. 2004. Rendimiento, eficiencia en el uso del agua y nitrógeno en haba en función del manejo del nitrógeno. XX Congreso Nacional de Fitogenética. Toluca, Estado de México. México.
- Pichardo R. J. C., J. A. Escalante, M. T. Rodríguez y P. Sánchez. 2007. Aplicación dividida y eficiencia agronómica del nitrógeno, uso de agua y radiación, y rendimiento de haba. *Terra Latinoamericana* 25 (2): 145–154.
- Pilbeam C. J., P. D. Hebblethwaite and H. E. Ricketts. 1989. The response of determinate and semi-determinate faba bean varieties to different sowing date in the spring. *Ann Appl. Biol.* 114: 377–390.
- Pilbeam C. J., P. D. Hebblethwaite and H. E. Ricketts. 1989. The response of determinate and semi-determinate faba bean varieties to different sowing dates in the spring. *Ann. Appl. Biol.* 114: 377–390.
- Pilbeam C. J., P. D. Hebblethwaite, H. E. Ricketts and O. A. Hassan. 1990. Effects of autumn sowing dates on growth and yield of indeterminate and determinate field beans (*Vicia faba*). *J. Agric. Sci. Cam.* 114: 339–352.
- Plancquaert P., and C. Girard. 1987. La feverole d'hiver: Culture-utilisation. French Ext. Inf. Bull. UNIP, ITCF, and FNAMS, Paris.
- Polignano G. B., P. Ugenti and P. Perrino. 1989. Pattern and genotypic x environment interactions in faba bean (*Vicia faba* L.) populations. *Euphytica* 40: 31–41.
- Qi A., T. R. Wheeler, J. D. H. Keatinge, R. H. Ellis, R. J. Summerfield and P. Q. Craufurd. 1999. Modelling the effects of temperature on the rates of seedling emergence and leaf appearance in legume cover crops. *Exp. Agric.* 35: 327–344.
- Rabey J. M., Y. Vered, H. Shabtai, E. Graff, A. Harsat, A. D. Korczyn. 1993. Broad bean (*Vicia faba*) consumption and Parkinson's disease. *Adv. Neurol* 60: 681–684.

- Recinos A. R. de J. 1995. Efecto de tres niveles de labranza y fertilización sobre el rendimiento de haba (*Vicia faba* L.). Tesis Licenciatura. Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Rees R. O., R. Richards, F. Faris. 2000. World and regional trade: quantity versus quality. *In*. Linking research and marketing opportunities for pulses in the 21st century. Knight R. (ed) Kluwer Academic Publishers: Dordrecht. The Netherlands. pp. 143–154.
- Ridao E., C. F. Oliveira, J. R. Conde and M. I. Mínguez. 1996. Radiation interception and use, and spectral reflectance of contrasting canopies of autumn sown faba beans and semi-leafless peas. *Agric. For. Meteorol.* 79 (3): 183–203.
- Romagosa I. and P. N. Fox. 1993. Genotype x environment interaction and adaptation. *In*. Plant breeding series: Plant breeding: Principles and prospects. Hayward M. D., N. O. Bosermark, and I. Romagosa. (eds). Chapman and Hall, London. pp. 373–390.
- Romagosa I., P. N. Fox, L. F. García del Moral, J. M. Ramos, M. B. García del Moral, F. Roca de Togores, J. L. Molina-Cano. 1993. Integration of statistical and physiological analyses of adaptation of near-isogenic barley lines. *Theor. Appl. Genet.* 86: 822–826.
- Rowland G. G. and D. A. Bond. 1983. The relationship between number of seed and frequency of ovule fertilization in field beans (*Vicia faba* L.). *J. Agric. Sci. Cam.* 100: 35–41.
- Rowland G. G., D. A. Bond and M. L. Parker. 1983. Estimates of the frequency of fertilization in field beans (*Vicia faba* L.). *J. Agric. Sci. Cam.* 100: 25–33.
- Rowland G. G., G. Duc and J. Picard. 1984. The effect of environment, apex excision and flower removal on fertility components of faba beans (*Vicia faba* L.). *Can. J. Plant Sci.* 64: 95–103.
- Ruiz R. M. and M. I. Mínguez 2006. ALAMEDA, a structural–functional model for faba bean crops: morphological parameterization and verification. *Annals of Botany* 97 (3): 377–388.
- Sánchez H. M., A. S. Sánchez y H. Rebolledo. 2001. Fertilización en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) de temporal en Chapingo, México. *Revista Chapingo Serie Ingeniería Agropecuaria.* 4 (1): 11–16.
- Satorre H. E. R. L. B. Arnold, G. A. Slafer, E. B. de la Fuente, D. J. Millares, E. Otegui y R. Savin. 2003. Producción de granos: bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.
- Sau F. and M. I. Mínguez. 2000. Adaptation of indeterminate faba beans to weather and management under a Mediterranean climate. *Field Crops Res.* 66: 81–89.
- Saxena M. C. 1979. Agronomic and physiological aspects of some important food legumes in West Asia. *In* Food Legume Improvement and Development. Hawtin, G. C. and G. J. Chancellor (eds). IDRC, Ottawa, Canada. pp. 155–165.
- Saxena M. C. 1982 Physiological aspects of adaptation. Faba bean Improvement. Hawtin G. and C. Webb (ed). ICARDA. Netherlands. pp. 145–159.

- Saxena M. C., G. C. Hawtin, and H. Elbrahim. 1981. Aspects of faba bean ideotypes for drier conditions. *In* *Vicia faba: Physiology and Breeding* Thompson R. (ed). Martinus Nijhoff Publishers, The Hague, The Netherlands. pp. 210–231.
- Scriven W. A., B. A. Cooper and H. Allen. 1961. Allen. Pollination of field beans. *Outlook Agric.* 3: 69–75.
- SIAP (Servicio de Alimentación Agroalimentaria y Pesquera). 2008. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/aagricola_siap/ientidad/index.jsp. (Consulta: agosto 25, 2008).
- Siddique K. H. M., G. H. Walton and M. Seymour. 1993. A comparison of seed yield of winter grain legumes in Western Australia. *Aust. J. Exp. Agric.* 33:915–922.
- Skjelbag A. O. 1981. Effect of climatic factors on the growth and development of the field beans (*Vicia faba* L, var. *minor*). II. Phenological development in outdoor experiments. *Acta Agriculturae Scandinavica* 31: 372–381.
- Sneller C., L. Kilgore and D. Dombek. 1997. Repeatability of yield stability in soybean. *Crop Sci.* 37: 383–390.
- Solórzano V. E. 1993. Colección y documentación del cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en los Valles Altos de México. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Sprent J. I. 1972. The effect of water stress of nitrogen fixing root nodules. IV. Effects on whole plants of *Vicia faba* and *Glycine max*. *New Phytologist.* 71: 603–611.
- Sprent J. I. and A. L. Bradford. 1977. Nitrogen fixation in field beans (*Vicia faba* L.) as affected by population density, shading and its relationship with soil moisture. *J. Agric. Sci. Cam.* 88: 303–310.
- Sprent J. I. and A. M. Bradford. 1977. Nitrogen fixation in field beans (*Vicia faba*) as affected by population density, shading and its relationship with soil moisture. *J. Agric. Sci. Cam.* 88: 303–310.
- Stutzel H. 1995a. A simple model for simulation of growth and development in faba beans (*Vicia faba* L.): I. Model description. *Eur. J. Agron.* 4:175–185.
- Stutzel, H. 1995b. A simple model for simulation of growth and development in faba beans (*Vicia faba* L.): II. Model evaluation and application for the assessment of sowing date effects. *Eur. J. Agron.* 4:187–195.
- Summerfield J., E. H. Roberts, R. H. Ellis and J. Lawn. 1991. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. *Exp. Agric.* 27: 11–31.
- Thomson B. D., K. H. M. Siddique, M. D. Barr and J. M. Wilson. 1997. Grain legume species in low rainfall mediterranean-type environments I. Phenology and seed yield. *Field Crops Res.* 54: 173–187.
- Tornero C. M. A., J. Ramos y V. Olvera. 1993. Tecnología agrícola para la producción de haba. Colegio de Postgraduados. p. 17.

- Turner N. C. 1986. Adaptation to water deficit: a changing perspective. *Aus. J. Plant Physiol.* 13: 175–190.
- Turpin J. E., M. J. Robertson, C. Haire, W. D. Belloti, A. D. Moore and I. Rose. 2003. Simulating faba bean development, growth, and yield in Australia. *Aus. J. of Agric. Res.* 54: 39–52.
- Villalobos M. F. I. 1990. Los procesos de evaporación, transpiración y precipitación en los modelos de programación de riegos. Tesis de Doctorado. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid, España.
- Wallace D. H. 1985. Physiological genetics of plant maturity, adaptation and yield. *Plant Breeding Reviews* 3: 21–167.
- Wareing P. F. and I. D. J. Phillips. 1978. The physiology of flowering. I. Photoperiodism. *In* The control of growth and differentiation in plants. Pergamon Press. Oxford. pp 199 – 225.
- Xia M. Z. 1994. Effects of drought during the generative development phase of faba bean (*Vicia faba*) on photosynthetic characteristics and biomass production. *J. Agric. Sci. Cam.* 122: 67–72.
- Yan W., L. A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2001. Interpretation of genotype x environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Sci* 41: 19–25.
- Yan, W., L. A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40: 597–605.
- Younes H. A., S. N. Ismail, A. G. Abdel-Saming and M. Abdel-Hady. 1977. The use of photography and reflectance data in detecting phosphorus deficiency in broad bean plants *Vicia faba*. *Agric. Res. Review* 55: 19–27.
- Zóbel R. W. 1990. A powerful statistical model for understanding genotype by environment interaction. *In* Genotype by environment interaction and plant breeding. M. S. Kang (ed). Louisiana State University. pp. 126–140.
- Zóbel R., M. Wright and H. Gauch. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agron. J.* 80 (3): 388–397.

APÉNDICE

Cuadro 1. Variación de algunos elementos del clima en tres regiones, durante el desarrollo vegetativo de cultivares de haba. Primavera 2006.

Localidad	Cultivar	Temperatura (°C)			Horas Luz	Pp mm	RS MJ m ⁻²
		Máxima	Mínima	Media			
Montecillo	Tarragona Amarilla 1	30.2	6.8	18.5	7.0	234.5	1480.5
	Tarragona Amarilla 2	30.3	6.7	18.5	7.0	226.9	1448.3
	Tarragona Amarilla 3	30.3	6.7	18.5	7.0	226.9	1448.3
	Parraleña	30.2	6.8	18.5	7.0	234.5	1480.5
	Blanca	30.2	6.8	18.5	7.1	240.4	1553.2
	Juchitepec	30.2	6.8	18.6	7.0	235.5	1496.0
	Cochinera Morada	30.2	6.8	18.6	7.1	234.5	1480.5
	Cochinera Montecillo	30.3	6.7	18.5	7.1	226.9	1448.3
	San Pedro	30.2	6.8	18.6	7.0	235.5	1496.0
	San Isidro	30.2	6.8	18.5	7.0	243.3	1606.2
	Monarca	30.2	6.9	18.6	7.0	242.9	1571.5
	Diamante	30.2	6.8	18.5	7.1	240.4	1553.2
	V-31	30.3	6.7	18.5	7.1	226.9	1448.3
	V-35	30.3	6.7	18.5	7.1	226.9	1448.3
	San Pablo	Tarragona Amarilla 1	28.5	11.3	20.0	-----	174.4
Tarragona Amarilla 2		28.3	11.3	19.8	-----	221.7	-----
Tarragona Amarilla 3		28.5	11.3	20.0	-----	174.4	-----
Parraleña		28.3	11.3	19.8	-----	221.7	-----
Blanca		28.2	11.2	19.8	-----	249.3	-----
Juchitepec		28.4	11.3	19.8	-----	221.7	-----
Cochinera Morada		28.3	11.2	19.8	-----	227.5	-----
Cochinera Montecillo		28.4	11.3	19.8	-----	221.7	-----
San Pedro		28.4	11.2	19.8	-----	228.2	-----
San Isidro		28.3	11.2	19.7	-----	249.3	-----
Monarca		28.4	11.3	19.8	-----	227.5	-----
Diamante		28.3	11.2	19.8	-----	227.5	-----
V-31		28.3	11.3	19.8	-----	221.7	-----
V-35		28.3	11.2	19.8	-----	227.5	-----
Cd. Serdán		Tarragona Amarilla 1	25.3	7.7	16.5	-----	218.0
	Tarragona Amarilla 2	24.9	8.0	16.5	-----	244.5	-----
	Tarragona Amarilla 3	25.3	7.9	16.6	-----	225.0	-----
	Parraleña	25.3	7.9	16.6	-----	225.0	-----
	Blanca	25.3	7.9	16.6	-----	225.0	-----
	P. Orizaba	25.1	8.0	16.6	-----	232.5	-----
	Cochinera Morada	25.1	8.0	16.6	-----	232.5	-----
	Cochinera Montecillo	25.3	7.8	16.6	-----	225.0	-----
	San Pedro	25.4	7.6	16.5	-----	175.5	-----
	San Isidro	25.9	8.1	16.5	-----	255.0	-----
	Monarca	25.2	7.9	16.6	-----	226.5	-----
	Diamante	25.3	7.8	16.6	-----	218.0	-----
	V-31	25.5	7.5	16.5	-----	164.5	-----
	V-35	25.5	7.5	16.5	-----	164.5	-----

Pp: Precipitación, RS: Radiación solar.

Cuadro 2. Variación de algunos elementos del clima en tres regiones, durante el desarrollo reproductivo de cultivares de haba. Primavera 2006.

Localidad	Cultivar	Temperatura (°C)			Horas Luz	Pp mm	RS MJ m ⁻²
		Máxima	Mínima	Media			
Montecillo	Tarragona Amarilla 1	29.4	7.5	18.5	6.3	154.1	1248.8
	Tarragona Amarilla 2	29.3	7.5	18.4	6.3	161.7	1236.8
	Tarragona Amarilla 3	29.3	7.6	18.5	6.3	161.7	1267.0
	Parraleña	29.5	7.4	18.5	6.4	155.3	1348.6
	Blanca	29.3	7.5	18.4	6.3	148.2	1148.6
	Juchitepec	29.4	7.3	18.4	6.4	147.8	1131.8
	Cochinera Morada	29.6	7.3	18.4	6.4	159.1	1382.5
	Cochinera Montecillo	29.5	7.3	18.4	6.4	163.7	1397.9
	San Pedro	29.4	7.4	18.4	6.3	153.1	1283.6
	San Isidro	29.3	7.5	18.4	6.4	145.3	1123.0
	Monarca	29.4	7.5	18.5	6.3	145.7	1191.4
	Diamante	29.5	7.3	18.4	6.3	150.2	1293.0
	V-31	29.4	7.5	18.4	6.3	138.1	1110.0
	V-35	29.4	7.5	18.4	6.3	138.1	1110.0
	San Pablo	Tarragona Amarilla 1	25.6	9.5	17.7	-----	318.7
Tarragona Amarilla 2		25.9	9.3	17.6	-----	277.1	-----
Tarragona Amarilla 3		25.9	9.4	17.6	-----	324.4	-----
Parraleña		26.0	9.1	17.6	-----	277.1	-----
Blanca		25.9	9.1	17.5	-----	249.5	-----
Juchitepec		26.0	9.1	17.6	-----	284.4	-----
Cochinera Morada		25.9	9.3	17.6	-----	271.3	-----
Cochinera Montecillo		25.6	9.3	17.9	-----	267.7	-----
San Pedro		25.9	9.0	17.5	-----	277.9	-----
San Isidro		25.8	8.7	17.3	-----	259.8	-----
Monarca		25.8	10.0	17.8	-----	261.9	-----
Diamante		25.9	9.3	17.6	-----	271.3	-----
V-31		25.7	9.5	17.8	-----	267.7	-----
V-35		25.7	9.5	17.8	-----	261.9	-----
Cd. Serdán		Tarragona Amarilla 1	21.2	9.0	17.2	-----	232.0
	Tarragona Amarilla 2	20.5	8.7	16.6	-----	228.5	-----
	Tarragona Amarilla 3	20.7	8.7	16.7	-----	265.5	-----
	Parraleña	20.7	8.7	16.7	-----	265.5	-----
	Blanca	20.7	8.7	16.7	-----	265.5	-----
	P. Orizaba	20.7	8.6	16.7	-----	240.5	-----
	Cochinera Morada	20.5	8.6	16.6	-----	258.0	-----
	Cochinera Montecillo	21.3	9.0	17.1	-----	225.0	-----
	San Pedro	21.2	8.8	17.0	-----	297.5	-----
	San Isidro	20.2	8.8	16.5	-----	202.0	-----
	Monarca	20.8	8.7	16.7	-----	251.5	-----
	Diamante	20.9	8.7	16.8	-----	275.5	-----
	V-31	21.4	9.0	17.2	-----	292.5	-----
	V-35	21.3	8.8	17.1	-----	308.5	-----

Pp: Precipitación, RS: Radiación solar.

Cuadro 3. Promedio de las variables evaluadas en cultivares de haba sembrados en Montecillo. Primavera 2006.

Cultivar	Altura (cm)			Nudos		
	89 dds	132 dds	MF	89 dds	132 dds	MF
Tarragona Amarilla 1	67.3 ab ^z	98.7 a	121.4 ab	40.3 ab	100.3 a	111.0 a
Tarragona Amarilla 2	74.0 ab	113.0 a	121.7 ab	43.2 ab	102.3 a	110.8 a
Tarragona Amarilla 3	53.2 b	91.3 a	93.8 b	34.5 ab	69.3 a	79.2 a
Parraleña	67.0 ab	107.7 a	123.3 ab	32.3 ab	82.7 a	95.0 a
Blanca	61.0 ab	96.3 a	130.0 ab	53.5 a	122.0 a	130.0 a
Juchitepec	72.5 ab	105.3 a	143.8 a	46.8 a	70.7 a	83.3 a
Cochinera Morada	64.2 ab	117.3 a	137.8 ab	32.2 ab	86.0 a	97.8 a
Cochinera Montecillo	71.2 ab	91.7 a	118.8 ab	34.3 ab	68.7 a	80.1 a
San Pedro	75.7 ab	106.3 a	129.8 ab	28.0 ab	98.7 a	115.5 a
San Isidro	53.7 b	81.3 a	104.8 ab	16.7 b	64.3 a	75.7 a
Monarca	59.2 ab	94.7 a	118.2 ab	32.2 ab	110.0 a	121.2 a
Diamante	58.7 ab	102.7 a	126.2 ab	28.3 ab	98.0 a	115.0 a
V – 31	67.7 ab	99.3 a	122.8 ab	34.2 ab	86.7 a	98.5 a
V – 35	80.2 a	109.8 a	130.0 ab	26.3 ab	108.0 a	126.0 a
Promedio	66.1	101.1	123.0	34.5	90.5	102.8
DSH_{0.05}	24.1	38.7	44.8	27.3	80.6	77.0

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %. dds: días después de la siembra, MF: madurez fisiológica.

Cuadro 4. Promedio de las variables evaluadas en cultivares de haba sembrados en San Pablo. Primavera 2006

Cultivar	Altura				Nudos			
	89 dds	132 dds	166 dds	MF	89 dds	132 dds	166 dds	MF
Tarragona Amarilla 1	102.5 a ^z	149.8 a	170.8 a	185.0 a	47.8 abc	63.5 abc	94.5 ab	105.3 ab
Tarragona Amarilla 2	89.7 ab	140.3 a	153.0 a	165.8 a	50.5 ab	86.0 abc	127.5 a	137.0 a
Tarragona Amarilla 3	102.8 a	156.8 a	175.3 a	191.0 a	56.2 a	98.0 ab	119.8 ab	131.3 ab
Parraleña	91.0 ab	148.8 a	167.5 a	177.8 a	40.7 abc	106.8 a	124.5 a	139.3 ab
Blanca	85.0 ab	139.3 a	161.3 a	177.8 a	32.5 bc	43.8 c	81.5 ab	97.5 ab
Juchitepec	104.5 a	147.7 a	165.0 a	179.3 a	40.3 abc	98.7 ab	123.7 a	130.8 ab
Cochinera Morada	88.3 ab	145.0 a	172.5 a	186.0 a	42.8 abc	86.5 abc	107.0 ab	125.0 ab
Cochinera Montecillo	100.0 a	133.0 a	152.0 a	166.5 a	36.7 bc	51.4 bc	70.5 b	92.0 ab
San Pedro	93.0 ab	143.8 a	167.0 a	181.1 a	29.7 c	59.3 abc	70.0 b	83.5 b
San Isidro	75.3 b	124.0 a	152.5 a	165.8 a	30.3 c	55.3 bc	81.0 ab	91.3 ab
Monarca	93.8 ab	135.7 a	159.0 a	175.0 a	39.2 abc	87.7 abc	112.3 ab	127.0 ab
Diamante	104.7 a	147.3 a	169.8 a	185.4 a	32.5 bc	73.0 abc	107.5 ab	118.0 ab
V – 31	101.2 a	156.0 a	174.5 a	189.6 a	38.7 abc	64.3 abc	90.3 ab	99.5 ab
V – 35	98.2 a	147.3 a	182.0 a	196.8 a	30.0 c	63.0 abc	87.8 ab	105.0 ab
Promedio	95.0	143.8	165.9	180.2	39.1	74.1	99.8	113.0
DSH_{0.05}	19.8	37.1	37.6	37.3	19.4	49.5	51.2	53.2

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %. dds: días después de la siembra, MF: madurez fisiológica.

Cuadro 5. Promedio de las variables evaluadas en cultivares de haba sembrados en Cd. Serdán. Primavera 2006

Cultivar	Altura (cm)				Nudos			
	89 dds	132 dds	166 dds	MF	89 dds	132 dds	166 dds	MF
Tarragona Amarilla 1	45.1 a ^z	91.2 abc	111.0 abc	144.0 abcd	21.0 ab	36.3 abc	47.5 bcd	61.3 cd
Tarragona Amarilla 2	39.1 a	103.0 ab	120.3 abc	130.0 abcdef	19.1 ab	25.6 c	59.0 abcd	68.0 bcd
Tarragona Amarilla 3	39.8 a	99.8 ab	112.0 abc	144.5 abc	23.0 ab	38.0 abc	61.5 abcd	68.5 bcd
Parraleña	38.6 a	98.0 ab	123.8 abc	137.5 abcde	21.1 ab	49.5 a	71.3 abc	79.5 abc
Blanca	40.5 a	109.7 a	128.8 ab	145.0 abc	20.5 ab	49.2 a	84.5 a	95.7 a
Pico de Orizaba	43.0 a	106.3 ab	134.0 a	148.0 ab	25.3 a	38.2 abc	74.3 ab	86.0 ab
Cochinera Morada	40.4 a	97.3 ab	130.5 ab	155.3 a	17.1 ab	43.7 ab	54.3 bcd	59.3 cd
Cochinera Montecillo	47.0 a	87.7 abc	102.5 cd	120.7 bcdef	19.6 ab	27.8 bc	53.8 bcd	65.5 bcd
San Pedro	41.6 a	98.2 ab	117.5 abc	131.3 abcde	22.3 ab	30.3 bc	57.0 bcd	72.0 abcd
San Isidro	20.3 b	71.7 c	84.0 d	101.0 f	12.8 b	25.2 c	40.5 d	59.3 cd
Monarca	36.3 a	85.5 bc	99.3 cd	117.7 cdef	17.3 ab	31.2 bc	53.3 bcd	72.7 abcd
Diamante	39.0 a	90.8 abc	107.3 bcd	119.0 bcdef	22.5 ab	38.2 abc	48.5 bcd	57.0 cd
V – 31	39.0 a	90.2 abc	100.0 cd	113.7 ef	17.3 ab	34.5 abc	48.3 bcd	54.3 d
V – 35	43.5 a	87.7 abc	101.3 cd	115.3 def	21.3 ab	28.2 bc	44.8 cd	55.0 d
Promedio	39.5	94.1	112.3	130.2	20.0	35.4	57.0	68.2
DSH_{0.05}	11.3	22.6	24.7	29.1	11.9	16.8	27.2	24.3

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %. dds: días después de la siembra, MF: madurez fisiológica.

Cuadro 6. Estimación del crecimiento de cultivares de haba sembrados en Montecillo. Primavera 2006.

Cultivar	Altura (cm día ⁻¹)			Nudos día ⁻¹			Foliolulos día ⁻¹		
	0-89	90-132	133-MF	0-89	90-132	133-MF	0-89	90-132	133-MF
Tarragona Amarilla 1	7.57 ab ^z	7.29 ab	4.12 ab	0.45 ab	1.40 a	0.32 a	1.71 ab	-0.03 a	-4.43 a
Tarragona Amarilla 2	8.32 ab	9.07 ab	2.55 b	0.49 ab	1.38 a	0.25 a	1.84 a	-0.12 a	-5.44 a
Tarragona Amarilla 3	5.99 b	8.88 ab	2.18 b	0.39 ab	0.81 a	0.29 a	1.44 ab	-0.29 a	-3.40 a
Parraleña	7.53 ab	9.46 ab	4.61 ab	0.36 ab	1.17 a	0.36 a	1.81 a	0.40 a	-5.24 a
Blanca	6.68 ab	8.22 ab	9.90 ab	0.60 a	1.62 a	0.24 a	1.72 ab	0.31 a	-5.10 a
Juchitepec	6.15 ab	7.64 ab	11.30 a	0.53 a	0.56 a	0.37 a	1.56 ab	-0.55 a	-3.37 a
Cochinera Morada	7.21 ab	12.37 a	6.01 ab	0.36 ab	1.25 a	0.35 a	1.20 ab	0.16 a	-3.34 a
Cochinera Montecillo	8.00 ab	4.77 b	7.97 ab	0.39 ab	0.80 a	0.34 a	1.80 a	-1.13 a	-3.27 a
San Pedro	8.50 ab	7.13 ab	6.91 ab	0.31 ab	1.65 a	0.49 a	1.52 ab	-0.66 a	-3.15 a
San Isidro	6.03 b	6.44 ab	6.91 ab	0.19 b	1.11 a	0.33 a	0.66 b	0.29 a	-2.08 a
Monarca	6.65 ab	8.26 ab	6.91 ab	0.36 ab	1.81 a	0.33 a	1.44 ab	0.20 a	-4.03 a
Diamante	6.59 ab	10.23 ab	6.91 ab	0.32 ab	1.62 a	0.50 a	1.08 ab	0.22 a	-3.09 a
V - 31	7.06 ab	7.36 ab	6.91 ab	0.38 ab	1.22 a	0.35 a	2.22 a	-0.85 a	-4.74 a
V - 35	9.01 a	6.90 ab	5.92 ab	0.30 ab	1.90 a	0.53 a	1.88 a	0.38 a	-5.40 a
Promedio	7.2	8.14	6.36	0.38	1.30	0.36	1.56	-0.12	-4.01
DSH_{0.05}	2.71	6.71	8.74	0.30	1.76	0.36	1.06	3.14	4.32

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %. dds: días después de la siembra, MF: madurez fisiológica.

Cuadro 7. Estimación del crecimiento de cultivares de haba sembrados en San Pablo. Primavera 2006.

Cultivar	Altura (cm día ⁻¹)				Nudos día ⁻¹				Foliolulos día ⁻¹			
	0-89	90-132	133-166	167-MF	0-89	90-132	133-166	167-MF	0-89	89-132	133-166	166-MF
Tarragona Amarilla 1	11.51 a ^z	10.99 a	6.18 a	7.13 a	0.54 abc	0.37 bc	0.91 a	0.79 a	2.49 ab	-2.64 a	-3.17 a	0.00 a
Tarragona Amarilla 2	10.07 ab	11.77 a	2.75 a	6.38 a	0.57 ab	0.82 abc	1.22 a	0.84 a	2.41 abc	-3.58 a	-1.78 a	0.00 a
Tarragona Amarilla 3	11.55 a	12.54 a	5.44 a	7.88 a	0.63 a	0.97 abc	0.64 a	0.70 a	2.69 a	-1.38 a	-4.91 a	-0.10 a
Parraleña	10.22 ab	13.43 a	5.52 a	5.13 a	0.46 abc	1.54 a	0.52 a	0.74 a	2.17 abcd	-0.92 a	-4.19 a	-0.19 a
Blanca	9.55 ab	12.62 a	6.47 a	8.00 a	0.37 bc	0.26 c	1.11 a	1.30 a	1.55 abcd	-0.74 a	-3.06 a	-0.66 a
Juchitepec	11.74 a	10.04 a	5.10 a	7.13 a	0.46 abc	1.36 ab	0.74 a	0.72 a	2.23 abcd	-1.93 a	-3.40 a	0.00 a
Cochinera Morada	9.92 ab	13.18 a	8.09 a	6.75 a	0.48 abc	1.02 abc	0.60 a	1.71 a	1.88 abcd	-1.42 a	-3.00 a	-0.55 a
Cochinera Montecillo	11.24 a	7.68 a	5.59 a	7.25 a	0.42 abc	0.34 bc	0.56 a	1.58 a	1.59 abcd	-2.02 a	-1.60 a	0.00 a
San Pedro	10.45 ab	11.80 a	6.84 a	7.06 a	0.33 c	0.69 abc	0.32 a	1.05 a	1.56 abcd	-1.29 a	-2.44 a	0.00 a
San Isidro	8.47 b	11.32 a	8.39 a	6.63 a	0.34 c	0.58 abc	0.76 a	0.94 a	1.21 d	-0.92 a	-1.99 a	0.00 a
Monarca	10.54 ab	9.73 a	6.86 a	8.00 a	0.44 abc	1.13 abc	0.73 a	1.28 a	1.78 abcd	-1.72 a	-2.49 a	0.00 a
Diamante	11.76 a	9.90 a	6.62 a	7.81 a	0.37 bc	0.94 abc	1.02 a	1.03 a	1.47 bcd	-1.84 a	-1.51 a	0.00 a
V - 31	11.37 a	12.75 a	5.44 a	7.56 a	0.43 abc	0.60 abc	0.77 a	0.96 a	1.98 abcd	-2.66 a	-1.80 a	0.00 a
V - 35	11.03 a	11.42 a	7.72 a	7.38 a	0.34 c	0.77 abc	0.73 a	1.36 a	1.32 cd	-0.12 a	-3.30 a	0.00 a
Promedio	10.67	11.36	6.21	7.14	0.44	0.81	0.75	1.07	1.87	-1.65	-2.76	-10.0
DSH_{0.05}	2.22	10.12	6.53	3.63	0.21	1.08	1.29	1.19	1.14	4.60	5.36	1.14

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %. dds: días después de la siembra, MF: madurez fisiológica.

Cuadro 8. Estimación del crecimiento de cultivares de haba sembrados en Cd. Serdán. Primavera 2006.

Cultivar	Altura (cm día ⁻¹)				Nudos día ⁻¹				Foliolulos día ⁻¹			
	0-89	90-132	133-166	167-MF	0-89	90-132	133-166	167-MF	0-89	90-132	133-166	167-MF
Tarragona Amarilla 1	5.07 a ^z	10.70 ab	5.84 a	8.69 a	0.24 ab	0.36 abc	0.33 a	0.37 abc	0.74 a	1.78 bc	-1.01 ab	-2.84 a
Tarragona Amarilla 2	4.40 a	14.86 ab	5.10 a	2.55 a	0.22 ab	0.15 c	0.98 a	0.21 abc	0.60 ab	2.23 abc	0.29 a	-3.61 a
Tarragona Amarilla 3	4.46 a	13.95 ab	3.60 a	8.55 a	0.26 ab	0.35 abc	0.70 a	0.13 bc	0.73 a	2.55 abc	-1.70 ab	-2.16 a
Parraleña	4.34 a	13.81 ab	7.57 a	3.62 a	0.24 ab	0.66 abc	0.64 a	0.15 bc	0.66 ab	3.87 ab	-4.09 b	-1.56 a
Blanca	4.55 a	16.09 a	5.61 a	4.28 a	0.23 ab	0.67 b	1.04 a	0.21 abc	0.68 ab	4.08 a	-3.13 ab	-2.41 a
Pico de Orizaba	4.83 a	14.73 ab	8.14 a	3.68 a	0.29 a	0.30 abc	1.06 a	0.28 abc	0.75 a	2.03 abc	-0.37 ab	-3.29 a
Cochinera Morada	4.54 a	13.24 ab	9.76 a	6.53 a	0.19 ab	0.62 abc	0.31 a	0.09 bc	0.54 ab	3.20 abc	-2.88 ab	-1.50 a
Cochinera Montecillo	5.28 a	9.46 b	4.37 a	4.78 a	0.22 ab	0.19 abc	0.76 a	0.49 ab	0.74 a	1.67 bc	-2.67 ab	-1.95 a
San Pedro	4.68 a	13.15 ab	5.69 a	3.64 a	0.25 ab	0.19 c	0.79 a	0.34 abc	0.67 ab	1.15 bc	-0.13 a	-2.38 a
San Isidro	2.28 b	11.96 ab	3.63 a	4.47 a	0.14 b	0.29 abc	0.45 a	0.56 a	0.27 b	2.17 abc	-1.09 ab	-2.37 a
Monarca	4.07 a	11.46 ab	4.07 a	4.83 a	0.19 ab	0.32 abc	0.65 a	0.39 abc	0.53 ab	2.33 abc	-3.01 ab	-0.92 a
Diamante	4.37 a	12.08 ab	4.83 a	3.09 a	0.25 ab	0.36 abc	0.31 a	0.16 bc	0.67 ab	2.41 abc	-2.71 ab	-1.31 a
V – 31	4.38 a	11.90 ab	2.89 a	3.60 a	0.19 ab	0.40 abc	0.41 a	0.18 abc	0.60 ab	2.30 abc	-2.87 ab	-1.58 a
V – 35	4.89 a	10.27 ab	4.00 a	3.71 a	0.24 ab	0.16 c	0.49 a	0.24 abc	0.68 ab	1.68 bc	-2.18 ab	-1.36 a
Promedio	4.43	12.68	5.36	4.71	0.22	0.35	0.63	0.27	0.63	2.38	-1.96	-2.08
DSH_{0.05}	1.26	5.88	7.33	7.82	0.13	0.46	0.98	0.38	0.44	2.21	0.74	2.74

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %. dds: días después de la siembra, MF: madurez fisiológica.

CAPÍTULO II. EFECTO DE NITRÓGENO, FÓSFORO Y DENSIDAD DE POBLACIÓN EN HABA (*Vicia faba* L.).

RESUMEN

El haba como una de las principales leguminosas que se cultivan en México presenta rendimientos bajos. Por lo que es necesaria la búsqueda de nuevas prácticas agrícolas que permitan incrementar el rendimiento en vaina verde y grano seco. El objetivo fue determinar la variación en el crecimiento y rendimiento (vainas verdes y grano seco) y componentes con diferentes niveles y combinaciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y densidad de población (DP). El estudio se realizó bajo condiciones de temporal 2007 en Montecillo, Texcoco, México; San Pablo Ixayoc, Texcoco, México y Ciudad Serdán, Puebla. Los cultivares utilizados fueron los de mayor adaptación (rendimiento de grano seco) para cada ambiente y de acuerdo a los resultados del Capítulo I son Cochinera Montecillo, Cochinera Morada y Blanca sembrados el 23 de mayo, 6 de junio y 13 de mayo en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. Se evaluaron 18 tratamientos definidos mediante la Matriz Experimental Plan Puebla I, donde se estudió N (entre 0 y 200 kg ha⁻¹), P (entre 0 y 100 kg ha⁻¹) y DP (entre 31,000 y 125,000 plantas (pl) ha⁻¹). Para determinar el efecto del N se seleccionaron los tratamientos con 0, 66, 132 y 200 kg ha⁻¹, para P fueron 0, 33, 66 y 100 kg ha⁻¹ y para densidades 31 mil, 42 mil, 66 mil y 125 mil plantas ha⁻¹. El diseño experimental fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

Los resultados indican que la fertilización con N y P incrementó la altura de planta (AP), número de nudos (NN), número de tallos (NT), número de hojas (NH), tasa de aparición foliar (TAF) y tasa de expansión foliar (TEF). La mayor TAF y TEF generaron una área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), duración del área foliar (DAF) y radiación interceptada (RI) más alta y por lo tanto la acumulación de materia seca total (AMSTO) aumentó. La dosis que mostró el mayor rendimiento de vaina verde (RVV) y grano seco (RGS) presentó variación entre localidades debido a cambios en el número de vainas

(NV), número de semillas (NS) peso de cincuenta semillas (PCS), tasa de crecimiento de semilla (TCS) y tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS). Así como, índice reproductivo (IR), intensidad de partición (IP) e índice de cosecha (IC). Con N la máxima eficiencia biológica (MEB) en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán fue de 300, 355 y 309 g m⁻² con 120, 200 y 79 kg N ha⁻¹. Mientras que en la máxima eficiencia económica (MEE) el RGS fue de 293, 355 y 304 g m⁻² al suministrar 94, 200 y 55 kg N ha⁻¹, respectivamente. La MEB y MEE en Montecillo fue de 60 y 48 kg P ha⁻¹ y un RGS de 240 y 234 g m⁻², respectivamente. En San Pablo ambas se mostraron en 100 kg P ha⁻¹ con un RGS de 370 g m⁻². Mientras en Cd. Serdán un RGS de 276 y 273 g m⁻² para la MEB y MEE se registró con 32 y 21 kg P ha⁻¹, respectivamente.

En las localidades estudiadas al aumentar la DP disminuyó la AP, NN y NT. Densidades superiores a 62 mil pl ha⁻¹ afectaron la TAF y por lo tanto el NH. La máxima TEF y AF en Montecillo y San Pablo se registró en 42 mil pl ha⁻¹, en contraste en Cd. Serdán fueron menores al aumentar la DP. Sin embargo, en las tres localidades el mayor IAF, DAFT y RI y por lo tanto la AMSTO más alta fue en 125 mil pl ha⁻¹. Un comportamiento similar se observó en el RVV y RGS debido a que se incrementaron los componentes como: NV, PV, NS y TCS. La TCIS e índices de traslocación (IR, IP e IC) generalmente fueron más bajos al aumentar la DP. La densidad óptima (DO) promedio, DO física y DO económica se encontró con 125 mil pl ha⁻¹, en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán.

De todos los tratamientos, el óptimo económico para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán se encontró con 132–66–125 N–P–DP, 66–66–125 N–P–DP y 66-66-125 N–P–DP, respectivamente.

Palabras clave: *nitrógeno, fósforo, densidad de población, rendimiento, componentes de rendimiento, máxima eficiencia biológica, máxima eficiencia económica, densidad óptima, tratamiento óptimo económico.*

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate development, yield (green pod and dry grain) and yield components of faba bean as a function of nitrogen (between 0 and 200 kg ha⁻¹), phosphorus (between 0 and 100 kg ha⁻¹) and population density (between 31,000 and 125,000 plants ha⁻¹). The study was conducted under rainfed conditions 2007 in Montecillo, Texcoco, México, San Pablo Ixayoc, Texcoco, México and Ciudad Serdán, Puebla. The cultivars used were the most dry grain yield (Chapter I). These were Cochinera Montecillo, Cochinera Morada y Blanca in Montecillo, San Pablo y Cd, Serdán, respectively. Sowing was carried out on 26 May, 6 June and 13 April, respectively. Treatments were established by Plan Puebla I experimental matrix. To determine the effect of nitrogen (N), treatments were selected with 0, 66, 132 and 200 kg ha⁻¹ for phosphorus (P) were 0, 33, 66 and 100 kg ha⁻¹ and population density (PD) of 31,000, 42,000, 66,000 and 125,00 plants ha⁻¹. Used experimental design was randomized blocks, with eighteen treatments and four replications.

With the supply of N and P, plant height (PH), number of nodes (NN), number of stems (NS), number of leaves (NL), leaf appearance rate (LAR) and leaf expansion rate (LER), leaf area (LA), leaf area index (LAI), leaf area duration (LAD) and intercepted radiation (IR) were increased, which resulted in a greatest total dry matter (TDM). The doses that showed the greatest yield of green pod and dry grain presented variation among sites due to changes in the number of pods (NP), number of seeds (NS) weight of 50 seeds (P50S), seed growth rate (SGR) and individual seed growth rate (ISGR), as well as reproductive index (RI), intensity of partitioning (IP) and harvest index (CI). In Montecillo maximum biological efficiency (MBE) and maximum economical efficiency (MEE) for N was 120 and 94 kg ha⁻¹. In San Pablo both were with 200 kg ha⁻¹. Cd. Serdán showed the lower MBE and MEE with 79 and 55 kg N ha⁻¹. For phosphorus biological efficiency and economic efficiency in Montecillo, San Pablo and Cd Serdán was 60 and 48 kg ha⁻¹, 100 and 100 kg ha⁻¹, and 32 and 21 kg ha⁻¹, respectively.

In Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán with increasing population density reduced PH, NN and NS. Densities higher than 62,000 plants ha⁻¹ affected LAR and therefore NL. The LER and LA in Montecillo and San Pablo were highest with 42,000 plant ha⁻¹, in contrast in Cd. Serdán were lowest with increasing PD. However, all environments showed the highest LAI, LAD, IR and TDM with 125,000 plants ha⁻¹. Green pod yield, dry grain yield and yield components (NP, NS, P50S and SGR) showed similar results. Optimum plant density and economic optimum density in Montecillo, San Pablo and Cd. Serdán was 125,000 plants ha⁻¹. Optimum economic treatment in Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán was with 132–66–125 N–P–PD, 66–66–125 N–P–PD y 66-66-125 N–P–PD, respectively

Keywords: *nitrogen, phosphorus, population density, yield, yield components, maximum biological efficiency, maximum economical efficiency, optimum density, optimum economic treatment.*

I. INTRODUCCIÓN

Como los cultivos de temporal, el rendimiento y calidad del grano en haba depende de las condiciones ambientales (clima y suelo) que se presentan durante el desarrollo del cultivo. El *Servicio de Alimentación Agroalimentaria y Pesquera* (SIAP) de México, para el 2007 mencionan un rendimiento promedio de 1.2 y 5.9 ton ha⁻¹ para grano seco y vaina verde, respectivamente, los cuales son considerados bajos siendo una de las limitantes la escasa información en prácticas agronómicas, así como la investigación en el desarrollo de paquetes tecnológicos apropiadas para cada zona de producción (Sánchez, 2001).

Un manejo óptimo de la fertilización y la densidad de población permite una mayor eficiencia de los recursos básicos para el crecimiento y rendimiento de la planta (Escalante, 1995). Dicho rendimiento es el resultado de la captura de recursos (CO₂, agua y nutrimentos), los cuales tienen como principal fuerza motriz a la radiación solar, ya que se afectan los procesos de fotosíntesis y transpiración. Mediante las decisiones de manejo como la fertilización y arreglos topológicos, se tiende a optimizar esta captura lográndose un mayor rendimiento, el cual debe ser económicamente ventajoso y ambientalmente sustentable. Un estrés nutricional afectaran en primera instancia a la superficie fotosintética, a través de reducciones en la expansión foliar o ramificaciones de las plantas, limitando el rendimiento en la medida que reducen la capacidad de captura luz. Un estrés de mayor intensidad también puede afectar la eficiencia de conversión de la radiación capturada en biomasa, así como la distribución de esta hacia la estructura de interés agronómico.

Por otra parte, los cambios en la densidad permiten ajustar la estructura del cultivo. Cuando se aumenta la densidad se incrementa el ritmo de crecimiento diario del índice de área foliar (IAF) durante la etapa de expansión foliar aumentando la captura temprana de luz adelantando el momento de la máxima captura y por tanto el rendimiento (Satorre *et al.*, 2003).

1.1. Nutrición mineral

El crecimiento de las plantas depende de varios factores, que van desde la regulación genética hasta los factores edafo-climáticos. Para una especie vegetal y ambiente determinado, los factores de crecimiento más importantes son: luz, agua, CO₂ y nutrientes minerales. La disponibilidad de nutrimentos durante el ciclo del cultivo, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), afectan los procesos que regulan el crecimiento, la generación de rendimiento y calidad de los cultivos.

Un aspecto relevante en estudios sobre nutrición de las plantas es conocer la cantidad de elementos minerales que la planta absorbe del suelo y el momento en que se produce esa extracción. Diversos factores influyen en la absorción y disponibilidad de nutrientes del suelo como la capacidad de exploración del sistema radical, propiedades (químicas y físicas) del suelo y su manejo, condiciones climáticas y disponibilidad de agua (Cámara *et al.*, 2001). Por lo anterior se debe abordar su estudio y jerarquizando cuales son las posibles vías de ganancia o pérdida de los nutrimentos más importantes para cada cultivo. En un enfoque sistemático, ésta base de conocimientos permite comprender los efectos directos o indirectos del manejo agronómico sobre la oferta de nutrimentos tales como: labranza, aplicación de riego o la fertilización (Satorre *et al.*, 2003).

La fertilización es una práctica agronómica muy importante que consiste en la aportación de los nutrimentos requeridos durante las distintas fases de crecimiento del cultivo. La finalidad de la fertilización es alcanzar los niveles de producción deseados y una cosecha de calidad. Las leguminosas debido a su capacidad de fijar nitrógeno producen un rendimiento medio, incluso sin fertilización mineral. Sin embargo mediante una fertilización específica se puede incrementar notablemente el rendimiento. El requerimiento varía de acuerdo a la especie, zona agroecológica, patrón de cultivo y otros factores. Así, tenemos que los nutrientes requeridos son N, P, K, Ca, Mg, Fe, S, Cu, Zn, Mn, B y Mo. En México para el cultivo de haba son usualmente aplicados fertilizantes con N, P y K (Sánchez, 2001). Sin embargo la fertilización potásica es poco

común debido a que los suelos son ricos en K soluble (Aguado *et al.*, 2002) y cubren la demanda del cultivo.

La exigencia nutricional del cultivo de haba varía en función de la fase de desarrollo. Durante el ciclo inicial hasta 30 días después de la emergencia necesita poca cantidad de nutrimentos (Chávez y de León, 2000). Bond *et al.* (1985) señalan que la mayor absorción de N, P y K se observa en la etapa de floración antes que la formación de vainas inicie, mientras que la máxima absorción de Ca y Mg ocurre antes de la floración (pre-floración). Por su parte, Plancquaert (2000), menciona que la máxima absorción de P (entre 70-80 kg P₂O₅) y K (entre 250-300 kg ha⁻¹ K₂O) ocurre cerca de los 100 días después de la siembra. Domínguez (1984), concluye que las etapas de floración y maduración de grano son los periodos críticos en la que la falta de agua y elementos nutritivos puede perjudicar el potencial productivo de las plantas. Así, durante las primeras etapas del cultivo la absorción nutrimental es limitada. Durante las fase de floración y llenado de grano existe un aumento en las exigencias nutricionales, alcanzando una acumulación máxima variable para cada nutrimento (Li *et al.*, 2003). Entre el 50 y 55% de N y un porcentaje menor de P y K se acumula durante la madurez fisiológica, existiendo una intensa translocación de órganos vegetativos a reproductivos. Según Domínguez (1984), el haba acumula un total de 40, 11 y 23 kg de N, P₂O₅ y K₂O por tonelada de grano, mientras que Ciampitti y García (2000), reportan una acumulación de 37 kg N, 3 kg de P₂O₅ y 12 kg de K₂O. Así mismo se ha encontrado una extracción total en 1 ton grano más biomasa aérea de 52 a 62 kg N, de 7 a 16 kg P₂O₅ y de 30 a 39 de K₂O₅ (Domínguez, 1984 y Campitti y García, 2000). Con 25, 6 y 7 kg de Ca, Mg y S, respectivamente (Tisdale y Nelson, 1991). Rashed y Awadallad (1998), reporta los nutrimentos que se encontraron en diferentes órganos de haba. K, Ca, Mg, Fe, Sr, Mn, Ni, Co, Pb y Cr en hoja, Na y Cl en tallo, en vainas K, Cl y Fe mientras que en semillas Zn y Cu (sin incluir elementos primarios).

1.2. Exigencias nutrimentales

El haba acumula grandes cantidades de nutrimentos principalmente de N, P, K y Ca que son necesarios para tener un desarrollo normal e incrementar el rendimiento de semilla y biomasa. Una adecuada fertilización permitirá suministrar aquellos nutrimentos que necesite el cultivo debido a que los suelos no los proporcionan en cantidad suficiente.

En haba para maximizar el beneficio de la aplicación de fertilizantes, deben aplicarse en la cantidad adecuada. Algunos trabajos realizados para determinar las necesidades adecuadas de N, P y K, señalan para Valles Altos de México una dosis de 40–40–00 kg ha⁻¹ (Crispin, 1978), siendo para el Estado de México de 60–60–30 kg ha⁻¹. Sánchez *et al.* (2001) al evaluar 17 tratamientos resultado de la combinación de diferentes dosis de N, P y K encontraron el rendimiento y peso de semilla más alto aplicando 40, 24 y 18 kg ha⁻¹ de N, P y K, respectivamente, mientras que Escalante y Rodríguez (2002) concluyen que el mayor rendimiento biológico y de semilla, así como índice de cosecha (IC) se logra con 66 kg de N y 33 kg de P₂O₅. Para el este de Puebla diversas investigaciones recomiendan incorporar 40 kg de N y 40 kg P₂O₅ para incrementar la producción de grano (Tornero *et al.*, 1993). Mientras que para el oeste la dosis es de 90 kg N y 46 P₂O₅ (Saldaña *et al.*, 2000).

En Bolivia Crespo (1997) indica aplicar al momento de la siembra una fertilización de 18–45–00 kg ha⁻¹ de N, P y K, sin embargo un incremento de 4 ton se obtiene aplicando 30–45–00. Condori *et al.* (1997) encontró el mayor beneficio económico con 40–80–00 de NPK.

En España bajo condiciones de temporal y para lograr un rendimiento de 2 ton ha⁻¹ se recomienda aplicar 15 kg N, 30 de P₂O₅ y 60 de K₂O, mientras que con riego se producen 3 ton ha⁻¹ pero aplicando 20–45–80 kg de N, P y K, respectivamente, sin embargo si se quiere superar este rendimiento se aplicará 25–50–100 kg de N, P y K (Domínguez, 1984).

En Guatemala según las recomendaciones técnicas agropecuarias se aplica a los 30 días después de la siembra (dds) 78, 78 y 78 kg de N, P y K, además de una fertilización adicional de 69 kg de N antes de floración (Chávez y De Leon, 2000).

En Egipto se fertiliza con 150 kg N, 150 kg P₂O₅ y 200 kg K₂O ha⁻¹ para obtener un rendimiento de semilla más alto, ya que en el vástago se incrementa la altura, número de ramas y número de vainas y en el fruto número de semillas y peso de semillas (El-Wakeil y El-Sebai, 2007). Wolf (1996) también encontró al suministrar N, P y K una mayor acumulación de materia seca total y biomasa de vástago.

El INIAP (2006) recomienda para incrementar el rendimiento de vaina verde y grano seco aplicar 40 y 80 kg ha⁻¹ de N y P₂O₅, respectivamente.

1.3. Efecto del nitrógeno, fósforo y densidad de población en haba

1.3.1. El nitrógeno (N)

En el sistema suelo-planta el nitrógeno (N) es absorbido en forma de nitrato o amonio, los cuales entran en contacto con las raíces principalmente por flujo de masas (Malavolta *et al.*, 1997). El N se puede incorporar al sistema a partir de restos de cultivos, fijación biológica, aplicación de fertilizantes químicos u orgánicos y también por descargas eléctricas (Raij, 1991).

El N es un nutrimento esencial para los cultivos, es constituyente de las proteínas, ácidos nucleicos y otros metabolitos intermedios. A bajos contenidos de N el cultivo presenta deficiencias y el rendimiento disminuye. Existe un intervalo de contenido óptimo, por encima del cual el exceso de N puede causar disminución de rendimiento. A nivel global, el N es el segundo factor limitante en la producción de los cultivos después del agua. (Villalobos, *et al.*, 2002). En las leguminosas la eficiencia de la fertilización nitrogenada, no solo es determinada por la disponibilidad de este elemento

en el perfil del suelo, sino también por la simbiosis que forman estas plantas con bacterias que son capaces de fijar N atmosférico. Se estima que las leguminosas son capaces de asimilar aproximadamente la mitad de N que requieren, sin embargo no es suficiente para obtener un alto rendimiento (Hungria y Neves, 1987). Un suministro de N mineral en las leguminosas puede disminuir la eficiencia de la fijación de N₂ y limitar la redistribución de órganos vegetativos a la semilla (Buttery y Gibsona, 1990, Wojcieszka y Kocoń, 1997). Sin embargo, este es necesario cuando la actividad de *Rhizobium* es limitada por déficit hídrico, temperatura o cuando las propiedades físicas y químicas no son las apropiadas. Además después de floración la fijación de N disminuye debido a la menor actividad de la nitrogenasa, incrementándose la demanda de N para el llenado de grano (Prusiński, 2007). Cultivos de alto rendimiento requieren elevada disponibilidad de N durante las etapas reproductivas la cual no puede ser abastecida por el suelo y la fijación biológica (Wingeyer *et al.*, 2005).

1.3.2. Suministro de N sobre el crecimiento y desarrollo de haba

El desarrollo vegetativo consiste principalmente del crecimiento y formación de nuevos órganos (hojas, tallos y raíces), que dependen de la actividad de los meristemas, sitios donde se sintetizan ácidos nucleicos y proteínas, procesos que anteceden a la fotosíntesis y respiración; por ello la producción vegetal está íntimamente relacionada con la fotosíntesis (Singh y Srivastava, 1999).

En haba el suministro de N estimula el crecimiento así como la fotosíntesis. Para el caso de ésta última es mayor debido a que se incrementa el contenido de RUBISCO (Jia y Gray, 2004a), síntesis de clorofila en las hojas (Prusiński, 2007) y la eficiencia fotosintética es mayor (procesamiento de electrones por cantidad de luz) (Jia y Gray, 2004a). Aunque la correlación entre el contenido de N y la eficiencia fotosintética varía dependiendo de la edad de la planta (Prusiński, 2007) y la temperatura (Andrews *et al.*, 1985). Jia y Gray (2004b), concluyen que la tasa fotosintética es proporcional a la concentración de N foliar, ya que la mayor parte de N foliar está directamente

involucrada en la fotosíntesis formando parte de enzimas fotosintéticas (Jia y Gray 2004a) y clorofila (Abdelhamid *et al.*, 2003). Por otra parte la disponibilidad de N se relaciona con la respiración. Del Pozo *et al.* (2000), reporta que la tasa de respiración esta positivamente correlacionada con el N foliar. El incremento en la tasa de respiración por el suministro de N se atribuye al incremento en la biosíntesis de nueva biomasa, que demanda carbono y energía (Pening de Vries, 1974). Así, la fotosíntesis y respiración son dependientes del tamaño del dosel vegetal (Karamanos y Giménez, 1991). En el caso de la fotosíntesis en haba el tallo y pericarpio de fruto aportan solo el 15% del total de la planta (Austin *et al.*, 1981). Jia *et al.* (2004) encontró que el suministro de N incrementó la expansión foliar y en consecuencia el tamaño de la hoja, así como el número de hojas por planta se afecta por el N (Pichardo, 2005). El tamaño de la hoja y número de hojas por planta modifica el área (AF) e índice de área foliar (IAF) (Jia and Gray 2004; Shaaban *et al.*, 2006; Andrews, 1985; Pichardo 2005). El IAF aumenta exponencialmente por que claramente las primeras hojas son de menor tamaño que las siguientes y debido a que después de un cierto número de hojas, el N estimula la formación de nuevos tallos o ramas generando nuevas unidades sobre las que aparecen nuevas hojas (Shaaban *et al.*, 2006). A medida que el IAF se incrementa la cantidad de radiación solar interceptada por el cultivo es mayor (Pichardo *et al.*, 2006). Pichardo (2005), encontró en la variedad San Pedro con 132 kg N ha⁻¹ un IAF de 5.2 que corresponde a una intercepción de luz de 98%. Para que estos valores se logren es importante generar de forma temprana un IAF óptimo y además es esencial que este valor se mantenga durante la mayor cantidad de tiempo posible. Surge así el concepto de duración del área foliar (DAF) que resulta de integrar los valores de IAF en el tiempo (Satorre *et al.*, 2003). Por lo tanto, es importante incrementar el tamaño y longevidad de las hojas para alcanzar una mayor DAF, (Karamanos y Giménez, 1991). Pichardo (2005), encontró un incremento de AF del 98% con la aplicación de fertilización de 132 kg N ha⁻¹ y por lo tanto la DAF durante el periodo vegetativo, reproductivo y total fue más alta. La radiación fotosintéticamente activa (RFA) interceptada por el cultivo es transformada en biomasa y la pendiente de la relación entre ambas variables se denomina eficiencia en el uso de la radiación (EUR) (Pichardo *et al.*, 2007). La EUR tiene una relación positiva y lineal con el N foliar

(Sinclair y Muchow, 1999; Sinclair y Horie, 1989). Así, el suministro de N modifica la EUR por cambios en el N foliar y la asociación de este con la tasa de fotosíntesis a fotosaturación (Marshall y Vos 1991). Estas relaciones son de esperarse, ya que cerca del 75% del N foliar está incorporado en proteínas con diferentes funciones en la fotosíntesis (Evans, 1989). Pichardo (2005) encontró en dos cultivares de haba un incremento en la EUR con N debido a una mayor área foliar y RI por el dosel vegetal. Minguez *et al.* (1993) con 0, 200 y 300 kg N ha⁻¹ encontraron una EUR de 1.31, 1.79, y 1.45 g MJ⁻¹. Las diferencias se asociaron a la mayor DAF y a una menor senescencia foliar. El incremento en la RI y la EUR por el cultivo se traduce en un aumento proporcional en la tasa de crecimiento. Buysse *et al.* (1996) y Andrews *et al.* (1985) encontraron en diferentes cultivares de haba que la tasa de crecimiento relativo y tasa de crecimiento de cultivo se elevaron al aumentar la dosis de N, observando los efectos más significativos en la acumulación de materia seca del vástago en comparación con la de la raíz, lo anterior por mayor acumulación de carbono (C) y aminoácidos y una menor relación C:N en el vástago. Respuestas similares observaron Cardovilla *et al.* (1996); Caba *et al.* (1993) y Tang *et al.* (1999) al encontrar una mayor acumulación de biomasa en el vástago que en la raíz y en algunos casos en este órgano disminuye (Jia y Gray, 2004) por la competencia de fotosintatos entre vástago y raíz (Pate, 1971). Aunque su distribución porcentual en cada uno de los órganos (raíz, hoja, tallo y fruto) de la planta puede no afectarse (Guadarrama *et al.*, 2007; Sau y Minguez, 2000; Agung y McDonald, 1998). Sin embargo, mediante la aplicación fraccionada de N se incrementa la capacidad del cultivo por translocar asimilados hacia el grano reflejándose en el índice de cosecha (IC) (Pichardo *et al.*, 2007; Escalante y Rodríguez 2002a). El IC se define usualmente como la proporción de materia seca en relación a la total que se acumula en los órganos cosechados (Satorre *et al.*, 2003). En términos generales el aumento del IC se considera uno de los factores a considerar para aumentar el rendimiento. Además al incrementarse el IC se mejora la eficiencia en el uso del agua (EUA). Passioura (1977) relaciona la EUA en función de la eficiencia de la transpiración (ET, biomasa total producida por cantidad de agua transpirada) y el IC. Al-Naeem (2008) reporta en haba una mayor EUA en la producción de grano asociado con un mayor IC. La ET puede incrementarse por medio de la fertilización nitrogenada

al incrementar el contenido de clorofila por unidad de área foliar (Nageswara Rao *et al.*, 2001). Pichardo *et al.* (2007); Sau y Minguez (2000), encontraron un incremento del 250 y 5% en la EUA para la producción de grano al fertilizar con 132 y 200 kg N ha⁻¹, respectivamente.

1.3.3. Suministro de N sobre el rendimiento y componentes de haba

El rendimiento es el resultado de la expresión de innumerables caracteres de la planta y consecuentemente está controlada por un gran número de genes, siendo un carácter altamente cuantitativo dependiente de la interacción genotipo x ambiente. El rendimiento de un cultivo de grano queda definitivamente establecido y puede ser medido, recién a finalizar el ciclo del cultivo. Sin embargo, el mismo se genera a lo largo de todo el ciclo debido al aporte que van realizando distintas estructuras que lo componen. Desde este marco, es posible concebir el rendimiento como un conjunto de distintos componentes que se van generando durante el desarrollo del cultivo, quedando cada uno de ellos fijado en determinado momento (Satorre *et al.*, 2003).

En haba muchos estudios señalan que el suministro de N es necesario para lograr un alto rendimiento, analizando la relación entre éste y los componentes de rendimiento. Así, el número de vainas por planta es el de mayor relación con la producción de grano (Peat, 1982; Escalante y Rodríguez, 2002ab; Pichardo *et al.*, 2007; Guadarrama *et al.*, 2007; Ghizaw *et al.*, 1999), sin embargo, cuando esto no sucede, existe una tendencia a la compensación con otros componentes, debido a la alta plasticidad que presenta la planta (Ruiz, 2003; López *et al.*, 2005)

Una limitante en el rendimiento es la caída de flores y la prematura abscisión de vainas (Karamanos y Giménez, 1991), deficiencias de N durante el periodo de floración incrementan estos factores (Xia, 1997), debido a la competencia por asimilados entre las parte vegetativas y reproductivas (Peat, 1982). Pichardo (2005) y Guadarrama (2002) encontraron que mediante la fertilización nitrogenada se incrementaba el

número de órganos reproductivos, debido a que el N estimula la translocación de fotoasimilados a meristemas florales (Hageman, 1979). Escalante y Rodriguez (2002a); Pichardo (2005), encontraron un mayor rendimiento con 100 y 132 kg N ha⁻¹, respectivamente, ya que además del número de flores se incrementó el número de vainas (NV) y número de semillas (NS) por m². El NV fue el carácter más afectado en comparación con el número de semillas por vaina (NSV) y el peso de semilla (PS). En contraste, Sánchez *et al.* (2001) señalan que la variación en el rendimiento se debió a cambios en el peso de 100 semillas (P100S). El número de vainas por planta (NVP), NSV y granos por planta (NGP) no presentaron cambios.

Ghizaw *et al.* (1999) encontraron un incremento en el rendimiento del 15, 25 y 33% con la aplicación de 18, 27 y 36 kg N ha⁻¹. Lo anterior debido a que el NVP fue de 6.3, 6.6 y 6.7, respectivamente, mientras que en el control solo de 5.3.

Al ensayar 0, 50, 100 y 200 kg N ha⁻¹ en 12 genotipos de haba, se encontró que el N incrementó significativamente el rendimiento de grano. La variación fue entre el 66 y 93% presentando en promedio una relación de tipo cuadrático entre el rendimiento y el suministro de N (Dauri *et al.*, 2008).

El-Wakeil y El-Sebai (2007) señala un mayor NVP, NSP, P100S y rendimiento al suministrar 150 kg N ha⁻¹. El componente que más se favoreció con la fertilización nitrogenada fue el NSP, mientras que en menor grado el NVP y P100S. No se encontraron diferencias estadísticas en el NSV.

Al aplicar 180 kg N ha⁻¹ como NO₃⁻ y NO₄⁺ en una sola y dos dosis sobre el cultivar R. Blanca, se encontró una mayor producción de semilla, en cualquier forma de aplicación y momento. El incremento osciló entre 19.7 y 31% respecto al control. Sin embargo, los mejores resultados se obtienen con N amoniacal en dos aplicaciones. El NVP fue mayor con el suministro de N, y su respuesta fue mejor con el abonado nítrico lográndose aumentos hasta del 40%. Así mismo en todos los tratamientos nitrogenados se incrementó el peso seco medio del fruto y semilla. Oscilando la tasa de incremento

entre el 28 y 44% en cuanto al peso de grano, siendo más efectiva la fertilización amoniaco-fraccionada que supera en 40% al control (Bergareche *et al.*, 1988).

Liben *et al.* (2001), al evaluar en Mota, Etiopia 0, 32, 64 y 96 kg N ha⁻¹ encontraron un rendimiento más alto con 96 kg N, siendo este tratamiento el que presentó el mayor peso de 1000 semillas con 487 g. El NSV y NVP no presentaron cambios mediante la fertilización nitrogenada.

Al estudiar en dos cultivares 9, 18 y 27 kg N ha⁻¹, Talaat y Abdallah (2008), reportan un incremento en el rendimiento, NVP, NSP, y peso de vainas y semilla por planta, mediante el suministro de N. Los mejores resultados se encontraron con 18 kg N debido a que se incrementó en aproximadamente el 50% el peso de vaina por planta y NSP, con relación a la dosis más baja. El P100S no presentó cambios significativos. Resultados similares encontró Liben *et al.* (2001).

Babiker *et al.* (1995) y Sau y Mínguez (2000) encontró el mayor NVP, NV por m² y rendimiento con 200 kg N ha⁻¹. Mientras que el peso de semilla y NSV no se afectaron. Shaaban *et al.* (2005) reporta el mayor NVP, NSP y rendimiento con 95 kg N ha⁻¹.

En resumen el nitrógeno afecta la expansión foliar, tamaño de la hoja, número de hojas por planta y en consecuencia, el área foliar, índice de área foliar, duración del área foliar y radiación interceptada. El incremento del área foliar e índice de área foliar inducido por el nitrógeno, genera una mayor tasa de crecimiento relativo y tasa de crecimiento de cultivo y por lo tanto la acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta es mayor. De igual manera la eficiencia en el uso de los recursos (agua y radiación) se incrementan con nitrógeno, generando una mayor producción de biomasa total y rendimiento y sus componentes (número de vainas y semillas por planta, número de semillas por vaina y peso de semilla).

1.3.4. El fósforo (P)

El fósforo (P) es considerado como uno de los elementos más limitantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas, siendo un nutriente esencial para su metabolismo, principalmente en la fase reproductiva (Raghothama, 1999). El P desempeña un papel importante en la transferencia de energía, respiración y fotosíntesis. Es también un componente estructural de los ácidos nucleicos y cromosomas, así como de muchas coenzimas, fosfoproteínas y fosfolípidos (Grant *et al.*, 2001). Es necesario para la división en regiones meristemáticas como el crecimiento del meristemo apical radicular y en las leguminosas permite una mayor fijación biológica de N (Raghothama, 1999), debido a que el P suministra la energía (ATP) para que la bacteria *Rhizobium* convierta el N atmosférico (N₂) a amonio (NH₄). El ATP se genera durante el proceso de fotosíntesis cuando la energía luminosa se transforma y almacena, para luego ser usada por la planta, por ejemplo para la formación y desarrollo de nuevos nódulos radiculares, así como para su adecuado funcionamiento (Anónimo, 2005).

El P constituye cerca de 0.2% del peso seco de las plantas (Schachtman *et al.* 1998). La concentración de P en la planta varía entre especies, edad y naturaleza del tejido vegetal. Limitaciones en la disponibilidad de P durante las primeras etapas del ciclo del cultivo, puede resultar en restricciones en el crecimiento, de las cuales la planta nunca se recupera, aun cuando después se incrementa el suministro de P a niveles adecuados. Así el suministro de P es esencial desde los estadios iniciales de crecimiento (Grant *et al.*, 2001).

1.3.5. Suministro de P sobre el crecimiento y desarrollo de haba

El efecto de la disponibilidad de P sobre el desarrollo de los cultivos ha sido menos estudiado que el efecto del N. El suministro de P afecta el crecimiento a través de la

tasa de crecimiento de la planta, partición de biomasa entre la raíz y vástago y la tasa de absorción de P por unidad de masa radical (Ascencio y Lazo, 2001).

En haba una deficiencia de P limita severamente el crecimiento (Turk y Tawaha, 2002; Ahmed y El-Abay, 2007), ya que el P influye en la eficiencia fotosintética. Jia y Gray (2004) bajo condiciones controladas encontró que el P incrementa la tasa de fotosíntesis de $20 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a $31 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ básicamente por el efecto del P sobre el contenido y actividad de la ribulosa-1, 5-bifosfato (RUBISCO), así como en la eficiencia cuántica que fue, en la baja concentración de $0.025 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \mu\text{mol} (\text{Q})^{-1}$ y en la alta de $0.091 \mu\text{mol} (\text{CO}_2) \mu\text{mol} (\text{Q})^{-1}$. Debido a lo anterior la demanda y absorción de N por la planta fue más alta (Amanuel *et al.*, 2000). Por lo tanto, el suministro de P influye en la demanda de N, ya que el incremento en la superficie transpiratoria aumenta el flujo de agua en el sistema suelo-planta-atmosfera e incrementa el flujo de nitratos hacia el sistema radical (Jia y Gray, 2004). Ahmed y El-Abay (2007); El-Habbasha *et al.* (2007), observaron que con la adición de P el porcentaje de N y proteína se incrementaba en vaina verde y grano seco. En estudios de campo Turk y Tawaha (2002) encontraron que al suministrar P, la tasa de desarrollo del cultivo es más alta, disminuyendo el periodo de emergencia-inicio de floración y emergencia-antesis. Ahmed y El-Abagy (2007) en plantas con P reportan un mayor desarrollo de los meristemas apicales y síntesis de carbohidratos y por lo tanto se incrementó la altura de la planta (Turk y Tawaha, 2002; Ghizaw *et al.*, 1999; Morales *et al.*, 2002), número de tallos (Lewis y Hawthorne, 1996), así como la acumulación de materia seca en este órgano (Ahmed y El-Abagy, 2007; Habbasha *et al.*, 2007). En el caso del peso seco foliar y en general la biomasa total de vástago presentan un comportamiento similar (Habbsha *et al.*, 2007; Ahmed y El-Abagy, 2007; Thaloorth *et al.*, 2001). De acuerdo con Monteith (1977), la producción de biomasa se deriva principalmente de dos procesos (i) la intercepción de RFA por las hojas y (ii) la habilidad de las plantas en transformar la radiación interceptada en materia seca (eficiencia en el uso de la radiación, EUR). Prácticas de manejo de cultivo pueden afectar alguno de esos procesos o la combinación de ambos. La RFA absorbida por el dosel vegetal depende del índice de área foliar (IAF) y de la distribución espacial de las

hojas en el tallo. El IAF se genera con la aparición y expansión de las hojas y es producto del número de hojas y del tamaño de las mismas (Satorre *et al.*, 2003). En los cultivares Giza-Blanka y Giza-843 con adición P no presentaron efectos sobre la tasa de expansión foliar, sin embargo el número de hojas a los 90 y 105 días después de la siembra (dds), fue más alto. Así, existió un incremento en el AF e IAF del 10 y 9%, respectivamente, de igual manera la duración del área foliar y área foliar específica fueron más altas (Ahmed y El-Abagy, 2007). En cuanto a la acumulación de materia seca en la raíz, el P afectó la arquitectura del sistema radical. Naruzzaman *et al.* (2005) encontraron un peso seco de raíz más alto con 20 mg P kg suelo⁻¹, así como una menor relación peso de raíz/peso vástago (PR/PV) y longitud específica de la raíz (LER, m g⁻¹). El incremento en el peso y menor PS/PV se debió al mayor crecimiento primario y de raíces laterales, indicando que el haba con P tiene la capacidad de explorar un gran volumen de suelo y acceder con mayor facilidad a nutrientes poco móviles como es el caso del P (Nuruzzaman *et al.*, 2005). Así, la concentración de P en raíz, vástago y semilla se incrementan. (Naruzzaman *et al.*, 2005; Bolland *et al.*, 2001; Bolland *et al.*, 2000; El-Habbasha *et al.*, 2007; Ahmed y El-Abagy, 2007). Por promover el P un mayor desarrollo radical y una temprana cobertura por el dosel vegetal se incrementa la EUA, al extraer mayor cantidad de agua (El-Habbasha, 2007) y disminuir la evaporación del suelo (Anonymus, 1999). Generalmente cuando se incrementa la EUR y EUA la partición de materia seca hacia el grano estimado a través del IC es más alto (Anónimo, 1999; Amanuel *et al.*, 2000).

1.3.6. Suministro de P sobre el rendimiento y componentes de haba

Amanuel *et al.* (2000) observaron una respuesta positiva en el rendimiento con la aplicación de 20 kg P ha⁻¹ en tres regiones de Etiopía. El rendimiento en promedio se incrementó 14% y fue mayor en regiones donde el P edáfico era deficiente.

Bajo condiciones de invernadero, evaluando el suministro de P aplicado al suelo y al follaje se encontró un mayor rendimiento mediante las dos vías. Dicho aumento se

debió al incremento del número de vainas por planta (NVP), peso de semilla (PS) y relación peso de vainas/peso seco de planta, siendo todas las variables más altas con la aplicación foliar de P (Thalooth, 2001).

Ahmed y El-Abagy (2007), mencionan que la adición de 100 kg P_2O_5 ha⁻¹ incremento significativamente el rendimiento en comparación con 34 y 68 kg P_2O_5 ha⁻¹. El mayor rendimiento se asoció con el mayor NVP y número de semillas por planta (NSP) y PS. El incremento más significativo se observó en el NSP (32.1%). Resultados similares encontraron Hassanein (1995); Ahmed *et al.* (1997); Abdalla (2002).

Una serie de experimentos en invernadero y campo se realizaron en Australia para conocer la concentración crítica de P en el rendimiento de grano del cultivar Fiord. Bajo condiciones de invernadero se evaluaron 0, 100 y 400 mg P_5O_2 kg suelo⁻¹, encontrándose que el P incremento significativamente el rendimiento de grano en 83 y 300%. En campo se realizaron tres experimentos el primero en 1986 evaluando 3 dosis de P y en 1987 dos experimentos evaluando 2 y 10 dosis de P. En el primero el rendimiento se incremento en 0.5 ton ha⁻¹ con 20 kg P ha⁻¹. Mientras que en 1987 se incrementó en 24% (4.09 ton ha⁻¹) con 40 kg P ha⁻¹, mientras que en el último experimento el rendimiento más alto (4.08 ton ha⁻¹) se encontró con 30 kg P ha⁻¹. El peso de 100 semillas (P100S) no se afectó por los tratamientos aplicados en ningún experimento, presentando en promedio 46.5 g. los resultados indican que se debe encontrar una concentración de P en hojas jóvenes durante el periodo vegetativo de 0.40% para obtener el máximo rendimiento y en la semilla de 0.36% (Lewis y Hawthorne, 1996).

Yokout y Greish (2001) al evaluar 0, 37, 74 y 110 kg P_2O_5 ha⁻¹ encontraron un mayor rendimiento de grano al incrementar la dosis de P. Siendo de 2.1, 2.5, 2.9 y 2.9 ton ha⁻¹, respectivamente. El NVP, PS por planta también se afectaron, sin embargo las diferencias estadísticas se observaron hasta 74 kg P_2O_5 ha⁻¹.

Bolland *et al.* (2000) en dos localidades de Australia (South Kukerin y East Pingaring) señala un mayor rendimiento con la adición de P. Las dosis evaluadas en ambos experimentos fueron 0, 5, 10, 20 y 40 kg P₂O₅ ha⁻¹. En South el máximo rendimiento se encontró en 40 kg P₂O₅ ha⁻¹, mientras que en East fue con 20 kg P₂O₅ ha⁻¹. Para East en comparación con 20 kg P₂O₅ ha⁻¹ el rendimiento disminuyó entre 10 – 15% cuando se aplicó 40 kg P₂O₅ ha⁻¹. En South, el rendimiento se incrementó por 50 y 20% con 40 y 20 kg P₂O₅ ha⁻¹, respectivamente. Los componentes de rendimiento fueron medidos solo en South. El número de semillas por vaina (NSV) no se afectó por el P, solo el NVP presentó diferencias siendo de 9, 11, 13, 16 y 17 para 0, 5, 10, 20 y 40 kg P₂O₅ ha⁻¹.

Bajo dos concentraciones de P edáfico (bajo y alto) Bolland *et al.* (2001) evaluaron la fertilización fosfatada. En ambas concentraciones el rendimiento máximo se encontró con 30 kg P ha⁻¹ superando en 70 y 25% al control (0 kg P ha⁻¹) en el status bajo y alto, respectivamente. En otro ensayo se encontró el rendimiento más alto con 45 kg P ha⁻¹. En ambos experimentos el P100S no se afectó por el P, oscilando entre 349 y 386 g.

Habbasha *et al.* (2007) con 36, 71 y 107 kg P₂O₅ ha⁻¹ encontraron un rendimiento de semilla de 2.3, 2.6, 2.7 y 2.8 t ha⁻¹, respectivamente. El incremento en el rendimiento fue consecuencia de mayor NVP, NSP, P100S y peso seco de vainas y semillas por planta. El peso seco de vainas, NVP y el P100S no presentaron diferencias estadísticas con 71 y 107 kg P₂O₅ ha⁻¹. El único carácter que no se afectó por el P fue el NSV.

Ghizaw *et al.* (1999), durante 1991 en tres regiones de Etiopía evaluaron 0, 23, 46 y 69 kg P₂O₅ ha⁻¹ encontrando diferencias significativas en el rendimiento y NVP en una de las tres regiones. El comportamiento fue lineal entre las variables y el suministro de P. Durante 1992 y 1993 se realizaron experimentos en ocho regiones con 0, 23, 46 y 92 kg P₂O₅ ha⁻¹ encontrando un rendimiento promedio de 1.7, 2.1, 2.5 y 2.9 ton ha⁻¹. Un comportamiento similar presentó el NVP.

Con 18, 35 y 53 kg P ha⁻¹ se incrementó el rendimiento de semilla, peso de semilla por planta, P100S, SPV, NVP y longitud de vaina en comparación con el tratamiento control (0 kg P ha⁻¹). Los valores más altos correspondieron a la dosis de 53kg P ha⁻¹ (Turk y Tawaha, 2002). Otros autores como Soheir (2001); Abdalla (2002); El-Douby y Mouhamed (2002); Morales *et al.* 2002; Li *et al.* 1999; Bolland *et al.* (1999) demuestran una respuesta positiva del rendimiento a la fertilización fosfatada. De igual manera se incrementa el NVP, NSP y peso de vaina.

En conclusión, el rendimiento y acumulación de materia seca total en haba en mayor con el suministro de fósforo, así como el número de vainas y semillas por planta, peso de semilla e índice de cosecha, debido a que se afecta la morfología y fisiología de la planta. En cuanto a la fisiología, el fósforo incrementa la fotosíntesis y síntesis de proteínas y carbohidratos. Las características morfológicas como la altura de planta, número de tallo y hojas, área foliar, índice de área foliar y duración del área foliar son más altos con fósforo. Por promover el fósforo un mayor desarrollo radical y una temprana cobertura vegetal se incrementa la eficiencia en el uso del agua.

1.3.7. Densidad de población

La densidad de población (DP) es una de las prácticas de manejo que determinan la capacidad del cultivo de interceptar recursos, pudiendo llegar a afectar de manera importante la captura y utilización de radiación, agua y nutrientes (Satorre, 1999). Desde el punto de vista productivo, la elección de la densidad está orientada a elevar la utilización de los recursos y reducir los efectos perjudiciales de los factores abióticos y bióticos, y en consecuencia, a aumentar el rendimiento y la calidad de los granos. Por ello, la DP del cultivo debe garantizar coberturas vegetales uniformes y elevadas desde las etapas tempranas y, especialmente, en los periodos críticos del ciclo del cultivo.

La regulación de la DP y el arreglo espacial de las plantas ha recibido gran atención, principalmente con la finalidad de definir cuantitativamente la relación entre la población y su rendimiento para identificar características estructurales del sistema productivo

tales como la “densidad optima” o “máximo rendimiento alcanzable” en distintas condiciones (Wells, 1991). Identificar y entender las bases ecofisiológicas que regulan la respuesta de los cultivos a la DP y su distribución espacial permite predecir sus efectos, directos (rendimiento y calidad) e indirectos (enfermedades, plagas) sobre la producción del cultivo y diseñar arreglos topológicos en función de las condiciones agroecológicas (Satorre *et al.*, 2003).

Para muchos cultivos incluyendo las leguminosas la densidad de siembra (DS) es una importante práctica agrícola que influye en la DP y morfología de la planta. En haba uno de los factores que influyen en el rendimiento es el número de plantas por m^2 , siendo el primer componente que se establece al inicio del ciclo y está controlado por el agricultor; el ambiente afecta en menor grado el número final de plantas por m^2 (Dantuma y Thompson, 1983). Otros componentes que determinan el rendimiento final se establecen en etapas posteriores y son dependientes de la DP. De acuerdo con Bond *et al.* (1985) un amplio rango de plantas por unidad de superficie son comúnmente usadas desde 15 hasta 60 plantas m^{-2} dependiendo del cultivar y la región. De acuerdo al tamaño de semilla en haba se caracterizan 4 variedades botánicas (*mayor*, *equina*, *minor* y *paucijuga*) las cuales se relaciona estrechamente con el genotipo. Sin embargo, la cruza entre tipos botánicos dificulta identificar la variedad basándose solamente en el tamaño de la semilla, especialmente cuando esté puede variar considerablemente en función de las condiciones ambientales. Por lo tanto, empíricamente sin importar la variedad botánica los cultivares de haba se han clasificado en (i) semillas grandes (> 1.0 g semilla $^{-1}$), (ii) semillas medianas ($1.0 - 0.5$ g semilla $^{-1}$) y (iii) semillas pequeñas (< 0.5 g semilla $^{-1}$). Cultivares de semilla grande generan un mayor rendimiento en clima mediterráneo y templado (Robertson y El-Sherbeeney, 1993; Escalante y Rodríguez, 2002a) y en condiciones húmedas (Mwanamwenge *et al.*, 1998). Bajo una misma DP producen gran cantidad de materia seca y presentan un elevado IAF en comparación con otros cultivares. Por lo tanto, para estos cultivares se recomienda DP bajas (Lamb y Poddar, 1992). Así, es común usar diferentes DP en función del tamaño de semilla del cultivar. Las densidades más comunes son de 15, 20 y 30 plantas m^{-2} , para semilla grande, mediana y pequeña,

respectivamente. En la actualidad existen cultivares de haba de crecimiento determinado que pueden sembrarse en DP altas (Pilbeam *et al.*, 1990). De acuerdo con Adisarwanto y Knigth (1997) numerosos estudios llevados a cabo en Europa y Norte América sobre el efecto de la DP en el rendimiento no son de relevancia en Australia. Para cultivares de semilla pequeña en clima Mediterráneo del sur de Australia la DP recomendada es de 30 plantas m^{-2} pero en regiones con problemas de enfermedades se recomienda una DP de 15–25 plantas m^{-2} . En el Reino Unido la DP óptima para siembras en primavera es de 45 a 65 plantas m^{-2} dependiendo del cultivar, localidad y año (Pilbeam *et al.*, 1991a). Sin embargo, de acuerdo con McEwen *et al.* (1988) la DS óptima en invierno es baja (24 semillas m^{-2}) aunque depende de la fecha de siembra. 12 semillas m^{-2} se recomiendan en siembras tempranas mientras que en siembras tardías 36 semillas m^{-2} .

1.3.8. Efecto de la densidad de población sobre el crecimiento y desarrollo de haba

La competencia intra–específica (entre malezas) por capturar los recursos esenciales para el crecimiento, afecta la estructura del cultivo. A partir del momento en que las plantas dentro de un cultivo empiezan a competir, el incremento en la DP determina una reducción del tamaño de las mismas (tamaño de las hojas, número de tallos o ramas). A este efecto se suma un cambio en la disposición de los órganos foliares. Incremento en la densidad de siembra (DS) de un mismo genotipo pueden determinar distintos hábitos foliares (más erectófilo a densidades altas y más planófilo a densidades bajas), una modificación en el largo de entrenudos (plantas más bajas a densidades sub– y supra–óptimas) y una reorientación de hojas en el plano horizontal (mayor frecuencia de hojas hacia el entresurco como respuesta a la DS) (Satorre *et al.*, 2003).

En haba la DP de acuerdo con Loss *et al.* (1998a) afecta la superficie fotosintetizante, intercepción de radiación, producción de materia seca, altura de la planta, balance de

agua en el suelo, competencia intra-específica y el desarrollo de enfermedades fungosas y virales. A la siembra, y poco después de la emergencia, la materia seca (MS) del cultivo por unidad de área está linealmente asociada a la densidad, debido principalmente a un incremento en el IAF ya que otros índices de crecimiento permanecen constantes. A medida que avanza el ciclo de cultivo las plantas aumentan de tamaño y AF y la competencia se establece aún en bajas densidades; de esta manera, la tasa de crecimiento de plantas individuales se reduce y por tanto la correlación entre la MS y la DP se vuelve asintótica (Dantuma y Thompson, 1983). La magnitud de los cambios en la biomasa total (BT) producida dependerá de los mecanismos de compensación en bajas densidades (que son fijados en el periodo vegetativo) y de la tolerancia al estrés por una alta densidad. Los mecanismos de compensación más importantes son el número de plantas por m^2 y el número de tallos por planta (ambos inversamente relacionados). Al-Abdulsalam y Abdulsalam (1995); Mokhtar (2001); El-Metwally *et al.* (2003) encontraron un mayor número de tallos (NT) o ramas con DP bajas. Sharaan *et al.* (2004) señalan que el NT con 27 plantas m^{-2} superó en 12 % a 44 plantas m^{-2} . Sin embargo la altura de la planta a la cosecha es mayor (Pilbeam *et al.*, 1990; Refay, 2001; Thalji, 2006). Este incremento se asocia a la competencia por recursos principalmente de luz que existe entre las plantas en DP altas (Al-Rifaei *et al.*, 2004; Stringi *et al.*, 1986; Sharaan *et al.*, 2004) propiciando una mayor longitud de los entrenudos, ya que la tasa de aparición nodular es constante en diferentes DS (Loos *et al.*, 1998b). Debido al incremento de la distancia entre los nudos en DP altas se produce una mayor acumulación de MS en el tallo en la etapa de anthesis (Al-Abdulsalam y Abdulsalam, 1995) e inicio de la vaina (Loss *et al.*, 1998b), no existiendo diferencias en el porcentaje a la BT contribuida por los tallos, las hojas y las vainas (pericarpio) en las primeras etapas vegetativas y a la madurez (Stützel y Aufhammer, 1992). Durante el llenado de grano existe una disminución en MS por planta en DP altas en comparación con DP bajas. Aunque la BT final por unidad de superficie generalmente es mayor en DP altas (Singh *et al.*, 1992). De acuerdo con Poulain *et al.* (1986) el desarrollo del IAF depende principalmente de la temperatura (diurna y nocturna), disponibilidad de agua y DP. El aumento en la DP provoca un incremento del IAF (Idris, 2008; Almeida *et al.*, 1995; Pilbeam *et al.*, 1991b). El máximo

IAF en DP altas se alcanza durante la floración y permanece hasta el inicio de la vaina, disminuyendo durante el desarrollo de los frutos (Coelho y Pinto, 1989). Plantas en DP bajas presentan una mayor IAF al final del ciclo del cultivo (Pilbeam *et al.*, 1991b). Sin embargo, durante las primeras etapas el IAF es menor afectando la captación de recursos como la radiación solar incidente (Al-Abdulsalam y Abdulsalam, 1995) y el porcentaje de radiación fotosintéticamente activa, así como la eficiencia en el uso de radiación (EUR). Ishag (1995) durante el periodo vegetativo demostró que la EUR se incrementaba con DP altas. Variaciones en la DS provoca cambios en el microclima del cultivo modificando el valor de algunos parámetros. En DP altas se incrementa la fotosíntesis, reduce la respiración y fotorrespiración en las etapas tempranas de crecimiento (Poulain *et al.*, 1986) acelerando la madurez del cultivo (Amato *et al.*, 1992). A medida que avanza el desarrollo se presenta un excesivo sombreado entre hojas afectando la tasa de fijación de CO₂ e incrementa la tasa de respiración. Así, es más eficiente el uso de la energía (intercepción y conversión) en densidades bajas. Loos *et al.* (1998b) no reporta cambios en la EUR en función de la DS siendo en promedio de 1.30 g MJ⁻¹. Coelho y Pinto (1989) reportan una rápida senescencia foliar en DP altas debido a la competencia intra-específica por luz, agua y nutrimentos. La competencia por la luz incrementa el área foliar específica (AFE, cm⁻² g⁻¹). La producción de hojas con elevada AFE se ha encontrado por Kasim y Dennett (1986) como respuesta al sombreado. La duración del área foliar (DAF) es mayor en DP altas durante la etapa vegetativa resultando en una mayor acumulación de MS (Almeida *et al.*, 1995). Un comportamiento similar presenta la tasa de crecimiento de cultivo (TCC) (Ishag y Dennett, 1998; Tuttobene y Vagliasindi, 1995) mientras que Singh *et al.* (1992); Ishag y Dennett (1998) observaron una disminución en la tasa relativa de crecimiento (TRC) y la tasa de asimilación neta (TAN). Sin embargo, Coelho y Pinto (1989) no encontraron diferencias en la TAN para diferentes densidades estudiadas. Otro índice que representa la eficiencia de translocación de MS a la semilla es el índice de cosecha (IC) el cual generalmente disminuye al aumentar la DP, debido a que se incrementa más la BT por unidad de superficie que el rendimiento de semilla (Pilbeam *et al.*, 1990; Al-Rifaei *et al.*, 2004).

1.3.9. Efecto de la densidad de población sobre el rendimiento y componentes de haba

La sensibilidad del rendimiento frente a variaciones en la DP, depende de la plasticidad de los genotipos en la generación y fijación de estructuras reproductivas adicionales por planta. Por otra parte, la plasticidad en el crecimiento y los mecanismos de tolerancia a estrés por competencia de cada especie determinarán la respuesta en el rendimiento ante aumentos de la DP (Vega y Andrade, 1995).

La respuesta a la densidad de órganos reproductivos varía de acuerdo con el rango de densidad considerado, ajustándose en algunas situaciones a un modelo parabólico y en otras a un asintótico. La respuesta de tipo parabólico se ha atribuido al hecho de que la partición de recursos de los órganos de almacenamiento pueden ser fuertemente afectados por la competencia (Satorre *et al.*, 2003).

En haba el número de órganos reproductivos (demanda) por planta son los principales en determinar el rendimiento (Bond *et al.*, 1985). Poulain *et al.* (1986) reportan que la DP afecta la relación fuente–demanda debido a la competencia intra–específica por asimilados. Cuando la DP se incrementa, disminuye el número de nudos reproductivos por planta (Tuttobene y Vagliasindi, 1995) afectando el número de flores y vainas por planta, ya que la reserva de asimilados no es suficiente para mantener el desarrollo vegetativo y reproductivo. Coelho y Pinto (1989), sugiere que con DP altas la competencia por asimilados es mayor incrementando la abscisión de flores. A pesar de lo anterior Amato (1992); Guadarrama (2003), encontraron que la formación de flores no presentó cambios al modificar la DP; así mismo observaron que el porcentaje de flores caídas es constante en todas la DP estudiadas.

Armstrong *et al.* (2008) al estudiar 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70 plantas m^{-2} encontró los máximos rendimientos con 30 plantas m^{-2} . Al incrementar esta densidad el rendimiento disminuye.

Con tres distancias entre surcos de 25, 50 y 100 cm, Long *et al.* (2000) encontraron el rendimiento más altos con la DP alta (25 cm) superando en 40% a la DP más baja (100 cm) que presentó 0.72 ton ha⁻¹. La altura a la primera vaina presentó un comportamiento inverso. Siendo de 7.4, 11.6 y 17.3 cm para 25, 50 y 100 cm, respectivamente. Resultados similares encontraron El-Douby *et al.* (2000), al estudiar 40, 50, 60, 70 y 80 cm de separación durante dos años. El número y peso de vainas, número y peso de semillas y el P100S disminuyó al incrementar la distancia. El rendimiento máximo se encontró con una distancia de 50 cm, mientras que los valores más bajos se presentaron con 80 cm en ambas años.

Idris (2008), en el cultivar Kabkabia experimentó densidades de 47, 71 y 142 mil plantas ha⁻¹. El NVP presentó diferencias entre las densidades, 47 mil plantas ha⁻¹ presentó el mayor NVP con 28.6 superando en promedio a las densidades restantes en 26.8%. El comportamiento del NSV fue inestable ya que se presentaron 3.0, 2.9, y 3.3 con 47, 71 y 142 mil plantas ha⁻¹. El P100S no presentó cambios en función de la DP. Sin embargo, se correlacionó negativamente con el NSV. Las variaciones de los componentes provocó cambios en el rendimiento de semilla, encontrándose el más bajo y alto con 47 y 142 mil plantas ha⁻¹ con 3.0 y 3.4 ton ha⁻¹.

Al-Abdulsalam y Abdulsalam (1995), señalan que densidades de 50, 75 y 100 plantas m⁻² afectaron el rendimiento y sus componentes en dos años de evaluación (1990 y 1991). El rendimiento por planta fue menor al incrementar la DP en ambos años. El incremento en el rendimiento en densidades bajas se asocio con un menor P100S. La densidad de 50 y 75 plantas m⁻² presentó un menor P100S en comparación con 100 plantas m⁻² que mostró en promedio 44.1 g. El NVP disminuyó al aumentar la DP. Siendo de 26, 30 y 23 para el primer año y 46, 45 y 48 para el segundo año. El NSP fue más alto en DP bajas

Thalji (2006) encontró que el rendimiento del cultivar Giza fue severamente afectado por la DP en dos localidades (Rajib y Jubeita) de Jordania. Las densidades evaluadas fueron 20, 24, 31, 44 y 75 plantas m⁻². En Rajib la producción de semilla más alta fue

de 913 kg ha⁻¹ con 20 plantas m⁻² mientras que en Jubeiha fue de 1056 kg ha⁻¹ con 24 plantas m⁻². DP bajas presentaron mayor peso de semilla.

Al-Rifae *et al.* (2004) bajo condiciones de clima Mediterráneo reportan el mayor rendimiento por ha con 50 plantas m⁻² durante 1996 y 1997, respectivamente. DP más altas (100 y 150 plantas m⁻²) presentaron un rendimiento más bajo. El P100S durante el primer año no se afectó por la DP mientras que en el segundo año DP bajas (12.5 y 25 plantas m⁻²) presentaron semillas con mayor peso. El NSV no se afectó por la DP en ambos experimentos.

En los cultivares Farah, Fiesta VF, Nura se evaluaron 10, 15, 20, 25, 30 y 35 plantas m⁻². El rendimiento por unidad de superficie de Farah, Fiesta y Nura se incrementó al aumentar DP, siendo este más alto con 20, 20 y 25 plantas m⁻², respectivamente. Nura presentó el rendimiento más bajo. El peso seco pro planta disminuyó significativamente cuando la DP fue más alta mientras que el P100S se incrementó en los tres cultivares (Matthews *et al.*, 2008).

El efecto de la DP sobre el rendimiento de vaina verde fue estudiado en dos épocas en el sureste de España. Las plantas crecieron en tres densidades (11, 17 y 33 plantas m⁻²). El rendimiento generalmente fue más alto al incrementar la DP. La máxima producción se encontró con 33 plantas m⁻² siendo de 11.9 ton ha⁻¹ superando con 59 y 125% a 17 y 11 plantas m⁻² (Nadal y Moreno, 2006). Así mismo Vera (2003) al estudiar 6, 9, 12 y 15 plantas m⁻² encontró los mayores rendimientos (en promedio 17.5 ton ha⁻¹), con la DP de 12 y 15 plantas m⁻². Para grano verde la producción más alta se alcanzó con 9, 12 y 15 plantas m⁻² con un rendimiento de 5.2 ton ha⁻¹ superando en un 45.2% al rendimiento total obtenido con 6 plantas m⁻². De los componentes de rendimiento como largo y ancho de vaina, tamaño de grano y número de vainas por planta, solo el número de vainas se afectó por cambios en la DP. Resultados similares encontró Bozoglu *et al.* (2002). Sin embargo no encontraron diferencias en el número de vainas pero sí en la longitud de vaina.

Chávez y de León (2000) evaluando 2.7, 5.5, 8.3 y 11.1 plantas m^{-2} observaron el rendimiento más alto (3.2 $ton\ ha^{-1}$) con 11.1 plantas m^{-2} y el más bajo con 2.7 plantas m^{-2} .

Dean y Mendham (2003) en el 2000 y 2001 evaluaron 20, 30, 40 y 50 plantas m^{-2} encontrando un rendimiento máximo de 5.9 (2000) y 6.5 (2001) $ton\ ha^{-1}$ con 30 plantas m^{-2} . El tamaño de grano no se afectó por la DS.

Jettner *et al.* (1998) al evaluar diferentes DS encontraron que el NSV y P100S no se afectó por el patrón de siembra, mientras que el NVP fue más bajo en DS altas. El modelo asintótico indica que el rendimiento se incrementa al aumentar la DS.

Loss *et al.* (1998a) en una serie de experimentos en diferentes años y con distintas DP establecen que DP altas producen el máximo rendimiento. En 1994, 1995 y 1996 la producción de semilla fue de 2.0, 3.9 y 3.5 $ton\ ha^{-1}$ y se encontró con 60, 40 y 40 plantas m^{-2} , respectivamente. Así mismo con DP altas, el NVP y NSP fue menor. Resultados similares encontró Pilbeam *et al.* (1991) con 30 y 40 plantas m^{-2} durante 1988 en dos variedades.

Guadarrama (2002) en el cultivar Cochinera con 2, 3 y 4 plantas m^{-2} encontró un rendimiento de 67, 89.1 y 101.6 $g\ m^{-2}$. El rendimiento más alto se asocio a un mayor número de vainas y semillas por m^2 . El NSV no se afectó por la DP.

Otros autores entre ellos Leilah y El-Deed (1990); Armstrong *et al.* (2008); Stützel y Aufhammer (1992); Al Rifaee (1999); Turk y Tawaha (2002); Matthews *et al.* (2001) y Adirsawanto y Knight (1997) también observaron que al elevar la DP se incrementaba el rendimiento, así como algunos de sus componentes como el NVP (Stützel y Aufhamer, 1992). Los que no se afectaron son el número de vainas por m^{-2} (Agung y McDonald, 1998) y peso de semilla (Loos *et al.*, 2001 y Adisarwanto y Knight, 1997).

1.3.10. Densidad óptima económica

El modelo de respuesta de tipo parabólico dio origen al concepto de densidad óptima de siembra, definida como la densidad en la que se obtienen los máximos rendimientos. Este concepto pierde sentido cuando la relación entre el rendimiento y la densidad es de tipo asintótico. En este caso, el concepto que resulta agronómicamente más adecuado es el densidad óptima económica (DOE) de siembra, definida como aquella densidad por encima de la cual el rendimiento extra obtenido iguala o es levemente inferior al costo extra de semillas utilizadas (Satorre *et al.*, 2003).

La DOE en haba presenta variaciones de acuerdo al clima y el suministro de agua (riego o temporal). Bajo condiciones de temporal Idris (2008) menciona una DOE de 47 plantas m^{-2} , Adisarwanto y Knight (1997) de 20 a 35 plantas m^{-2} , Chávez y De Leon (2000) de 11.1 plantas m^{-2} , Matthews (2001) de 30 a 35 plantas m^{-2} , Dean y Mendham (2005) de 30 plantas m^{-2} y Jettner *et al.* (1998) de 45 plantas m^{-2} . Matthews *et al.* (2008) encontró una DOE en condiciones de riego de 22 a 24 plantas m^{-2} . En secoano Matthews *et al.* (2001) sugiere de 30 a 35 plantas m^{-2} , mientras que en clima Mediterráneo la DOE es de 25 plantas m^{-2} . En ambientes con escasa precipitación Loss *et al.* (1998a) recomienda 45 plantas m^{-2} . Para la producción de vaina verde Nadal y Moreno (2006) señalan para diferentes cultivares la DOE de 33 plantas m^{-2} .

En resumen, el haba presenta una plasticidad elevada como respuesta a cambios en la densidad de población. El factor de compensación más importante es el número de tallos que se relaciona inversamente con el número de plantas. Con densidades de población altas al inicio del cultivo provoca un mayor índice de área foliar y duración del área foliar y por lo tanto se incrementa la fotosíntesis, eficiencia en el uso de la radiación y acumulación de materia seca, sin embargo, a través del ciclo de cultivo el autosombreado es más alto, disminuyendo la fijación de CO_2 , eficiencia en el uso de radiación y biomasa total. El rendimiento por planta disminuye con densidades de población altas, sin embargo se compensa por el número de plantas por unidad de superficie. De los componentes que más se relaciona con el rendimiento es el número

de vainas. Cambios en la densidad de población tienen poca influencia en el peso de semilla, número de semillas por vaina y número de semillas por planta. Cuando la relación entre el rendimiento y la densidad de población presenta un comportamiento asintótico es necesario determinar la densidad óptima económica.

1.4. Interacción nitrógeno, fósforo y densidad de población

El N y P, están íntimamente involucrados en el metabolismo y crecimiento de las plantas, en donde estos nutrientes participan de manera conjunta en diferentes procesos bioquímicos de las plantas. El papel del P en el metabolismo nitrogenado ha sido estudiado en detalle, aunque siempre desde el punto de vista de los efectos de deficiencia de este elemento. La asimilación de NO_3^- es alterado cuando las plantas son deficientes de P. Los más comunes efectos descritos son: (1) reducción de la absorción de NO_3^- a través de las raíces (Pilbeam *et al.*, 1993; Jeschke *et al.*, 1996; Jeschke *et al.*, 1997) posiblemente a la disminución del ATP en la raíz (Rufy *et al.*, 1993), (2) disminución en la translocación de NO_3^- desde las raíces hasta la parte aérea (Rufy *et al.*, 1991; Pilbeam *et al.*, 1993; Jeschke *et al.*, 1997), relacionado con la caída en la presión hídrica vía la raíz y xilema (Rufy *et al.*, 1993) y (3) aumento en la acumulación de aminoácidos, principalmente en las hojas (Rufy *et al.*, 1991; Rufy *et al.*, 1993). Estos factores conducen a una disminución de la actividad nitrato reductasa y por lo tanto ocurre una disminución en la absorción de NO_3^- . Wilkinson *et al.* (1999), señalan que el N incrementa la absorción de P en la planta, debido a que incrementa el crecimiento radical y la habilidad de la raíz en absorber y translocar P, así como disminuir el pH del suelo como resultado de la absorción de NO_4^+ , generando una mayor solubilidad de los fertilizantes fosfatados

Por otra parte, en condiciones de buena disponibilidad de nutrientes (provistos en forma natural o artificial) el mayor rendimiento se alcanzan en densidades más altas que en ambientes de menor disponibilidad de recursos (Moore, 1991). Por ejemplo, un aumento de la DP en ambientes de baja disponibilidad nutricional tiene un efecto

depresivo debido a que la tasa de crecimiento por planta alrededor de la floración es baja y, en consecuencia, es alta la proporción de individuos dentro del cultivo que sufre aborto de flores y frutos. Por lo tanto, en esas condiciones la densidad de siembra resulta en una mayor oferta de recursos por la planta (Vega y Andrade, 2000). En especies como la soya cuando el crecimiento vegetativo (producción de ramas) se ve restringido por la falta de recursos suele ser deseable un aumento en la DP a fin de favorecer una mayor radiación interceptada por el dosel vegetal (Satorre *et al.*, 2003).

Saldaña *et al.* (2000) al estudiar el efecto del nitrógeno (0, 46, 92 y 105 kg ha⁻¹), fósforo (46 kg ha⁻¹) distancia entre surcos (70, 80 y 90 cm) y distancia entre plantas (30, 40 y 50 cm). Señalan que con el tratamiento 70 cm entre surco, 30 cm entre plantas y con 92 y 46 kg de N y P, respectivamente, presentó el rendimiento más alto con 2.9 ton ha⁻¹ y un contenido de proteína cruda de 26%. En relación al porcentaje de P en semilla resultó mejor el arreglo topológico de 70 cm entre surco y 30 cm entre plantas con 90 kg N y 46 kg P ha⁻¹.

Escalante y Rodríguez (2002b) evaluando 18 tratamientos resultado de la combinación de niveles de N y P (0, 33, 66 y 99 kg ha⁻¹) y DP (5, 10, 15 y 20 plantas m⁻²) concluyen que el rendimiento y sus componentes presentaron diferencias por el efecto de los tres factores. El rendimiento más alto correspondió al tratamiento 66-33-150 N-P-DP, respectivamente, con 207 g m⁻², con un índice de cosecha (IC) de 32% y un a producción de biomasa total (BT) de 643 g m⁻². Así mismo este tratamiento fue el que mostró el mayor ingreso neto. El tratamiento 33-66-100 de N-P-DP presentó el rendimiento, IC y BT más bajo con 53 g m⁻², 12% y 436 g m⁻², respectivamente. Los cambios en el rendimiento fueron asociados con cambios en el número de semillas, vainas y biomasa por m⁻² e IC.

Turk y Tawaha (2002) al estudiar entre otros factores niveles de P (0, 17.5 35.0 y 52.2 kg ha⁻¹) y DP (50, 57 y 100 plantas m⁻²) encontraron que en general el rendimiento y sus componentes más altos se encontraron con 100 plantas m⁻² y aplicando 52.5 kg P ha⁻¹.

En resumen, hay una fuerte interacción nutrimental entre nitrógeno y fósforo, la presencia de cualquiera de estos elementos mejora la absorción del otro. Cuando se tiene una adecuada disponibilidad de nutrimentos el mayor rendimiento se logra al incrementar la densidad de población.

II. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. Localización del área de estudio

El estudio se realizó durante la primavera de 2007 bajo condiciones de temporal en Montecillo, Texcoco, México; San Pablo Ixayoc, Texcoco, México y Cd. Serdán, Chalchicomula de Sesma, Puebla (Cuadro 1, Capítulo I).

2.2. Material genético

Se utilizaron los cultivares de mayor adaptación para cada ambiente. De acuerdo con los resultados del Capítulo I fueron: Cochinera Montecillo, Cochinera Morada y Blanca en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente.

2.3. Dimensiones del experimento, tratamientos y diseño experimental

Mediante la Matriz Plan Puebla I (MMP I) (Turrent y Laird, 1975) se estudió el nitrógeno (entre 0 y 200 kg ha⁻¹), fósforo (entre 0 y 100 kg ha⁻¹) y densidad de población (entre 31,000 y 125,000 plantas ha⁻¹). Dicha matriz para tres factores originó 14 tratamientos a los cuales se le agregaron los tratamientos 15–18, con el propósito de observar el efecto individual del nitrógeno (N), fósforo (P) y densidades (DP) (Cuadro 1).

Así, para el N se seleccionaron los tratamientos 9, 1, 5 y 18 y fueron las dosis 0 (N1), 66 (N2), 132 (N3) y 200 (N4) kg ha⁻¹. Para P, 11, 1, 3 y 15 con 0 (P1), 33 (P2), 66 (P3) y 100 (P4) kg ha⁻¹ y para DP los tratamientos 16, 3, 4 y 17, siendo de 3.1 (D1), 4.2 (D2), 6.2 (D3) y 12.5 (D4) plantas m⁻² (Cuadro 1). El tamaño de la parcela fue de 4 × 3 m (cinco surcos de 3 m de largo a una distancia de 80 cm). Se tomó como parcela útil los tres surcos centrales (uno para la evaluación de producción de vaina en fresco y

dos para grano seco en dos surcos). El diseño experimental fue de bloques al azar y cuatro repeticiones.

Cuadro 1. Tratamientos originados a partir de la MPP I para estudiar en haba.

Tratamiento	N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	DP
1	66	33	42000 (30)
2	66	33	62000 (20)
3	66	66	42000 (30)
4	66	66	62000 (20)
5	132	33	42000 (30)
6	132	33	62000 (20)
7	132	66	42000 (30)
8	132	66	62000 (20)
9	0	33	42000 (30)
10	200	66	62000 (20)
11	66	0	42000 (30)
12	132	100	62000 (20)
13	66	33	31000 (40)
14	132	66	125000 (10)
15	66	100	42000 (30)
16	66	66	31000 (40)
17	66	66	125000 (10)
18	200	33	42000 (30)
Efecto del nitrógeno			
9	0	33	42000 (30)
1	66	33	42000 (30)
5	132	33	42000 (30)
18	200	33	42000 (30)
Efecto del fósforo			
11	66	0	42000 (30)
1	66	33	42000 (30)
3	66	66	42000 (30)
15	66	100	42000 (30)
Efecto de la densidad			
16	66	66	31000 (40)
3	66	66	42000 (30)
4	66	66	62000 (20)
17	66	66	125000 (10)

DP = densidad de plantas ha⁻¹, El número entre paréntesis es la distancia entre plantas en cm. La distancia entre surcos fue de 0.80 m.

2.4. Manejo del cultivo

Una vez preparado el terreno, la siembra de los cultivares de haba se realizó el 23 de mayo 2007, 6 de junio 2007 y 13 de abril 2007, en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente, fue manual depositando dos semillas por mata con la finalidad de asegurar la emergencia, después de la emergencia se realizó el aclareo a una planta. La distancia entre plantas fue de acuerdo a las densidades de población originadas por la Matriz Plan Puebla (Cuadro 1). La fuente de nitrógeno (N) y fósforo (P) fue urea y superfosfato de calcio triple, respectivamente. La mitad del N y todo el P se aplicaron al momento de la siembra y el fertilizante restante al momento de la primera escarda (aproximadamente 40 días después).

2.5. Variables evaluadas

Para conocer el efecto del nitrógeno, fósforo y densidad de población se cuantificaron los siguientes parámetros:

2.5.1. Variables morfológicas

Para conocer la dinámica del crecimiento del cultivo se efectuaron cuatro muestreos destructivos de dos plantas a los 87, 127 y 156 días después de la siembra y a la cosecha (madurez fisiológica). Donde se registró la altura de la planta, número de nudos, número de tallos, número de hojas, número de foliolulos, área foliar, índice de área foliar, duración del área foliar y radiación interceptada, según los criterios descritos por Pichardo (2005).

2.5.2. Tasa de aparición foliar, tasa de expansión foliar y filocrono

De acuerdo a la Figura 1 se estimó (Biemond, 1995): la tasa de aparición foliar (hojas día⁻¹) o tasa de expansión foliar (cm² día⁻¹) (α de la figura), duración efectiva de

expansión foliar (días) (a de la figura o b/α), máxima área foliar (cm^2) (b de la figura) y el filocrono (b/α),) (días hoja^{-1}).

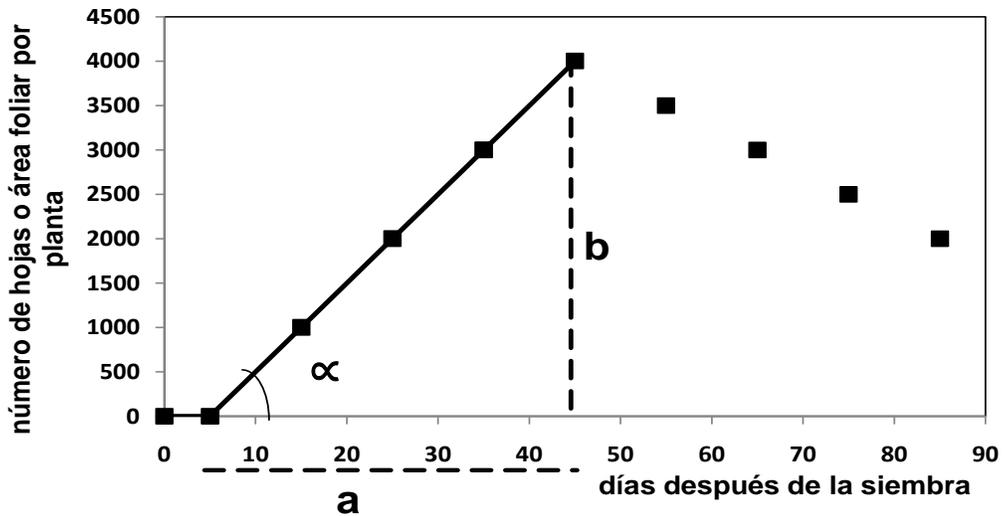


Figura 1. Figura para la estimación de componentes foliares.

2.5.3. Tasa relativa de senescencia foliar

Se estimó para conocer la pérdida de follaje a partir de los 127 dds mediante la siguiente ecuación (Colomb *et al.*, 2000):

$$TRS = \frac{AF_1 - AF_2}{t_2 - t_1} \times \frac{2}{AF_1 + AF_2}$$

Donde:

TRS = Tasa relativa de senescencia ($\text{cm}^2 \text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$).

AF = Área foliar (cm^2).

t = días.

2.5.4. Acumulación de materia seca total y su distribución en cada órgano

Para determinar la acumulación de materia seca total, cada estructura de la planta (hojas, tallo, pericarpio y semilla) se sometieron a un secado, en una estufa con circulación de aire forzado a 80 °C por un lapso de 72 h.

2.5.5. Rendimiento de vaina verde

De cada unidad experimental (12 m²) se registró el peso de la vaina en fresco (g m⁻²) en 2.4 m² (1 surco de 3 m) realizando tres cortes en función de la fenología de cada tratamiento. Además se determinó el número de vainas (m²) y tamaño de la vaina (g).

2.5.6. Rendimiento de granos seco y sus componentes

A la cosecha cuando las vainas presentaban un color negro y semilla de color amarillo se registró el rendimiento: peso seco de la semilla (g m⁻²) de dos surcos centrales (10% de humedad) y de acuerdo al criterio descritos en el Capítulo I los componentes de rendimiento como: número de vainas y semillas (m²), peso de vaina (g m⁻²), peso de cincuenta semillas (g), y número de semillas por vaina. Además se determinó la tasa de crecimiento de semilla y la tasa de crecimiento individual de semilla mediante las siguientes ecuaciones (Sexton *et al.*, 1994):

$$TCS = \frac{RGS}{DPV}$$

$$TCIS = \frac{PUS}{DPV}$$

Donde:

TCS = Tasa de crecimiento de semilla (g m⁻² d⁻¹).

TCIS = Tasa de crecimiento individual de semilla (mg semilla⁻¹ d⁻¹)

RGS = Rendimiento de grano seco (g m⁻²).

PUS = Peso unitario de semilla (mg).

DPV = Duración del periodo de llenado de vaina (d).

2.5.7. Índices de translocación

Se estimaron para determinar la eficiencia en translocar materia seca hacia el órgano de interés. Fueron (Agung y McDonald, 1998):

Índice reproductivo. Representa el número de semillas producidas por gramo de materia seca, sin incluir el peso de la semilla.

Intensidad de partición. Representa como fue la acumulación de materia seca en la semilla con respecto a la total. Con valores menores a 1 existió una mayor acumulación de materia seca en el vástago y mayores a 1 mayor acumulación en la semilla.

Índice de cosecha. Nos indica la cantidad de materia seca acumulada en la semilla en relación a la biomasa total. Las ecuaciones fueron las siguientes:

$$IR = \frac{NS}{AMST}$$

$$IP = \frac{TCS}{TCC}$$

$$IC = \frac{RGS}{AMST} \times 100$$

Donde:

IR = índice reproductivo (semillas g⁻¹).

IP = intensidad de partición (adimensional).

IC = índice de cosecha (%).

NS = número de semillas (m²).

AMST = acumulación de materia seca total (g m⁻²).

TCS = Tasa de crecimiento de semilla (g m⁻² d⁻¹).

TCC = Tasa de crecimiento de cultivo ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$).

$$\text{TCC} = \frac{\text{AMST}}{\text{CC}}$$

CC = ciclo de cultivo (d).

RGS = rendimiento de grano seco (g m^{-2}).

2.5.8. Máxima eficiencia biológica y máxima eficiencia económica

En los experimentos con suministró de nitrógeno (N) y fósforo (P) se estimó la máxima eficiencia biológica (MEB) y máxima eficiencia económica (MEE) mediante curvas de respuesta en el rendimiento de grano (RGS). Cuando el RGS, al suministro de N o P fue de tipo polinomial cuadrático (Ecuación 1), la MEB se estimó igualando a cero la primera derivada de la ecuación (Ecuación 2). Cuando la respuesta fue lineal positiva, la MEB se consideró como la mayor dosis de N o P. Cuando fue lineal negativa la MEB fue el testigo. Para la MEE fue utilizada la misma derivada de la Ecuación 2 multiplicándola por el precio del producto (pp) y restando el precio del insumo (pi) (Ecuación 3) (Wendling, 2005). Los precios utilizados para el Estado de México fueron $\$10.6 \text{ kg}^{-1} \text{ N}$, $11.2 \text{ kg}^{-1} \text{ P}$ y $\$20.0 \text{ kg}^{-1}$ de haba y para Cd. Serdán $\$10.4 \text{ kg}^{-1} \text{ N}$, $10.5 \text{ kg} \text{ P}^{-1}$ y $\$22 \text{ kg}^{-1}$ de haba (SNIIM, 2009).

$$y = a + bx + cx^2 \quad \text{Ecuación (1)}$$

$$\frac{dy}{dx}: 0 = b + 2cx \quad \text{Ecuación (2)}$$

$$\frac{dy}{dx}: 0 = pp(b + 2cx) - pi \quad \text{Ecuación (3)}$$

2.6. Densidad óptima (DO)

2.6.1. Densidad óptima promedio (DOP) y por ambiente (DOA)

La DOP se estimó a partir de los datos de RGS de las tres localidades, mientras que la DOA fue con los RGS de cada localidad.

2.6.2. Densidad óptima económica (DOE)

Cuando la ecuación de respuesta al RGS fue lineal positiva la DOE fue la densidad de población más alta y cuando se presentó un modelo de regresión de segundo orden (ajuste cuadrático) se utilizó la Ecuación 3, tomado como un pp de \$20 kg^{-1} de haba para Montecillo y San Pablo y de \$22 kg^{-1} para Cd. Serdán. El pi fue de \$25 kg^{-1} semilla de haba para las tres localidades.

2.7. Estimación de modelos de regresión

La estimación del modelo de regresión se hizo siguiendo el procedimiento indicado por Volke (2005), que consiste en especificar el modelo para los factores experimentales con base en las curvas de respuesta, para las variables simples y las interacciones. Las curvas de respuesta para los tres insumos en Montecillo se observan en la Figura 2A, B y C, las de San Pablo en la Figura 3A, B y C y las de Cd. Serdán en la Figura 4A, B y C. En estas curvas, las letras que aparecen corresponden al insumo para el cual se está graficando, ya sea nitrógeno (N), fósforo (P) o densidad de plantas (DP) y las cifras corresponden a las cantidades de los insumos que permanecen constantes en cada curva. Utilizando el programa SAS (Statistical System Analysis Institute, Inc., 2002) la obtención del modelo final se realizó por diferentes procedimientos: 1) prueba de modelos de regresión (PMR), 2) regresión progresiva (FORWARD), 3) eliminación de variables hacia atrás (BACKWARD), 4) regresión por pasos (STEPWISE) y 5) regresión

de máximo incremento de R^2 . El criterio de bondad para la selección del mejor modelo fue el cuadrado medio de desviaciones de regresión (CMDR).

2.8. Tratamiento óptimo económico y dosis óptima económica

2.8.1. Tratamiento óptimo económico (TOE)

Con los precios de insumos mencionados arriba, con el precio de mil plantas de haba de \$25.00 y un costo fijo de \$3400.00 se realizó un análisis económico para determinar el TOE con el criterio de capital ilimitado. El TOE fue aquel que origino el máximo ingreso neto.

2.8.2. Dosis óptima económica (DOE)

De acuerdo al mejor modelo de regresión estimado se calculó la DOE, donde la dosis de un insumo puede tener cualquier valor comprendido entre el espacio de exploración con que se estudió dicho insumo. LA DOE es la combinación de insumos que ocasiona el mayor ingreso neto.

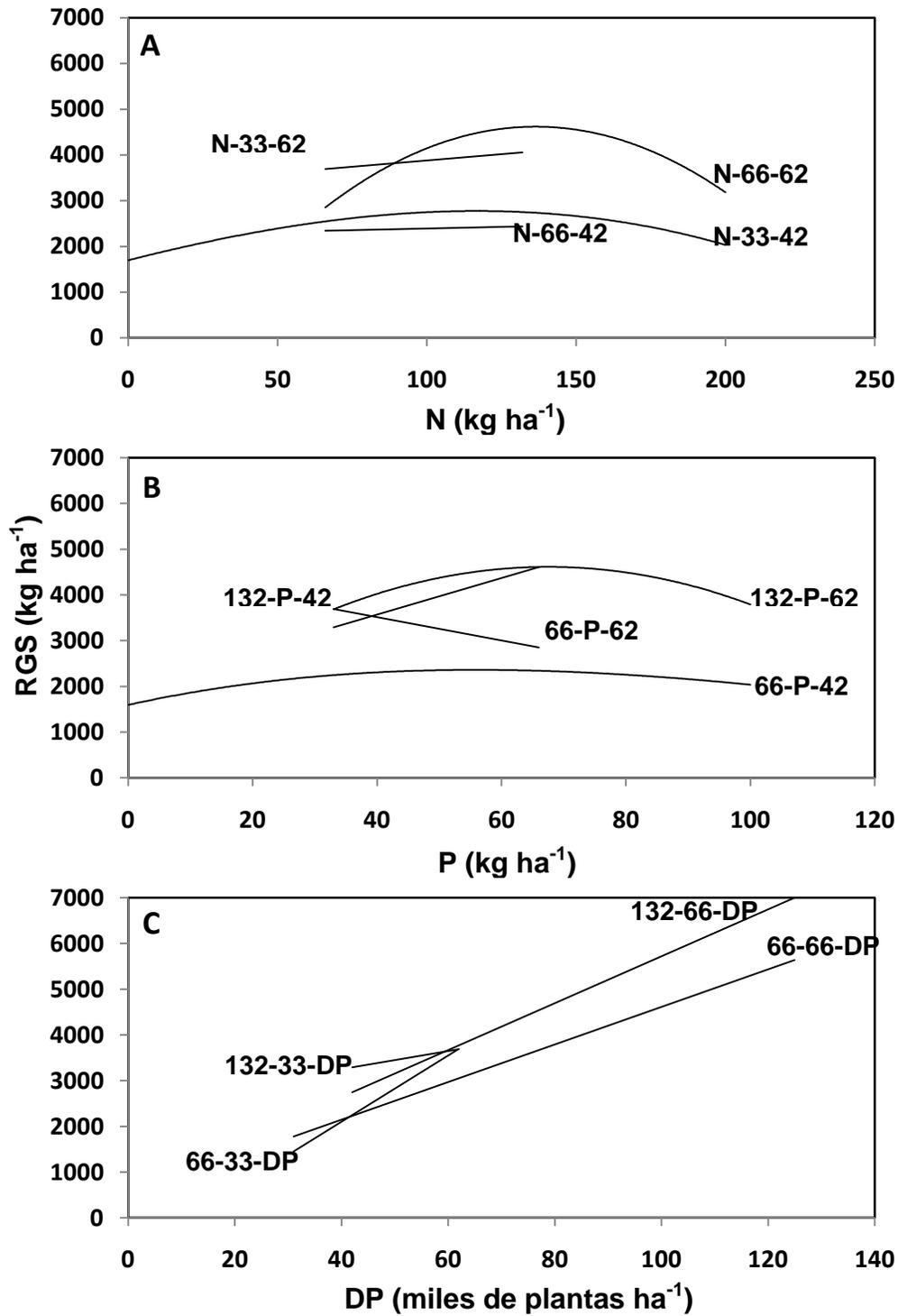


Figura 2. Efecto del fósforo (P) y densidad de población (DP) a diferentes niveles de nitrógeno (N) (A), efecto del N y DP a diferentes niveles de P (B) y efecto del N y P a diferentes DP (C) sobre el rendimiento de grano seco (RGS) de haba en Montecillo, México.2007.

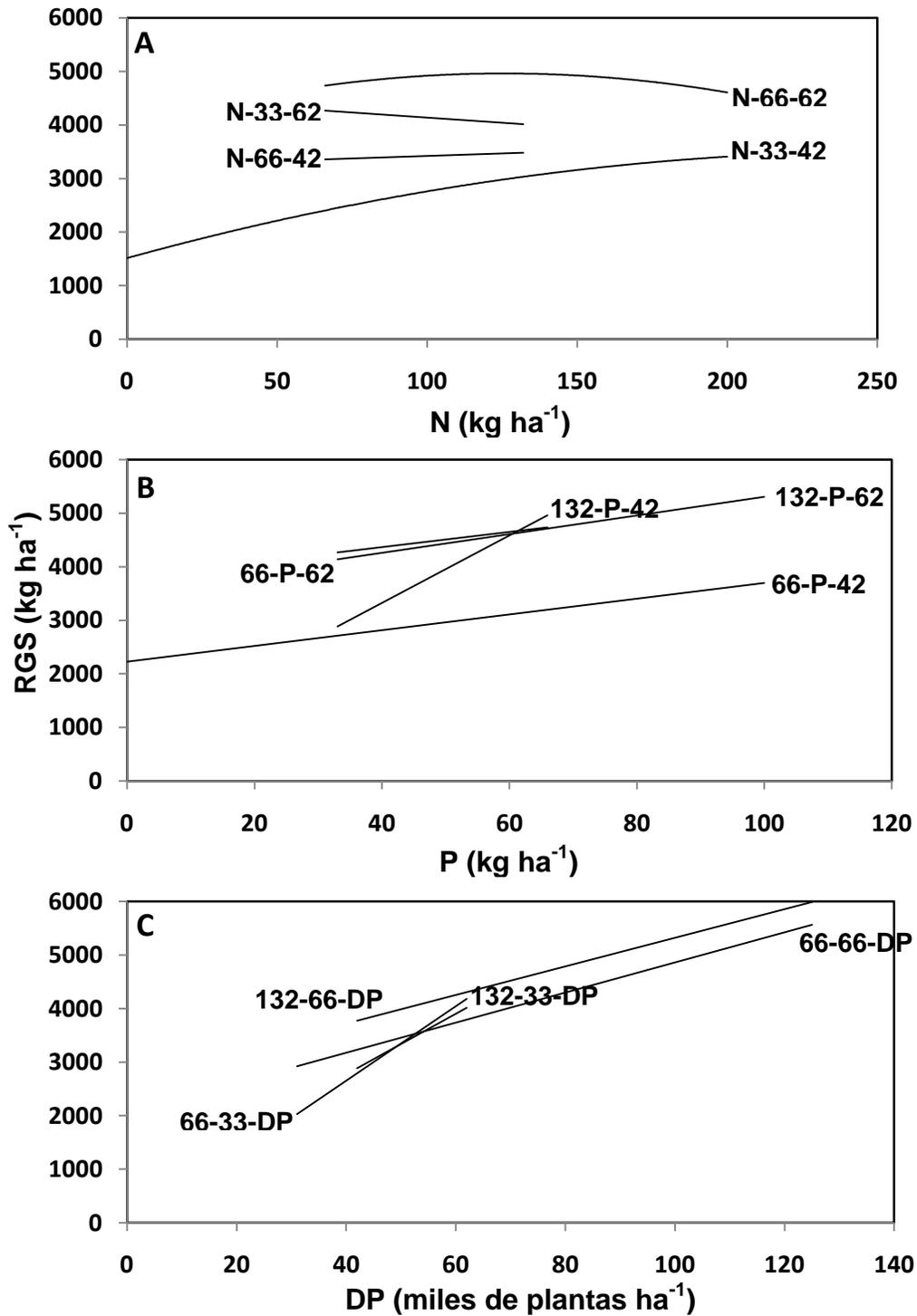


Figura 3. Efecto del fósforo (P) y densidad de población (DP) a diferentes niveles de nitrógeno (N) (A), efecto del N y P a diferentes niveles de P (B) y efecto del N y P a diferentes DP (C) sobre el rendimiento de grano seco (RGS) de haba en San Pablo, México. 2007.

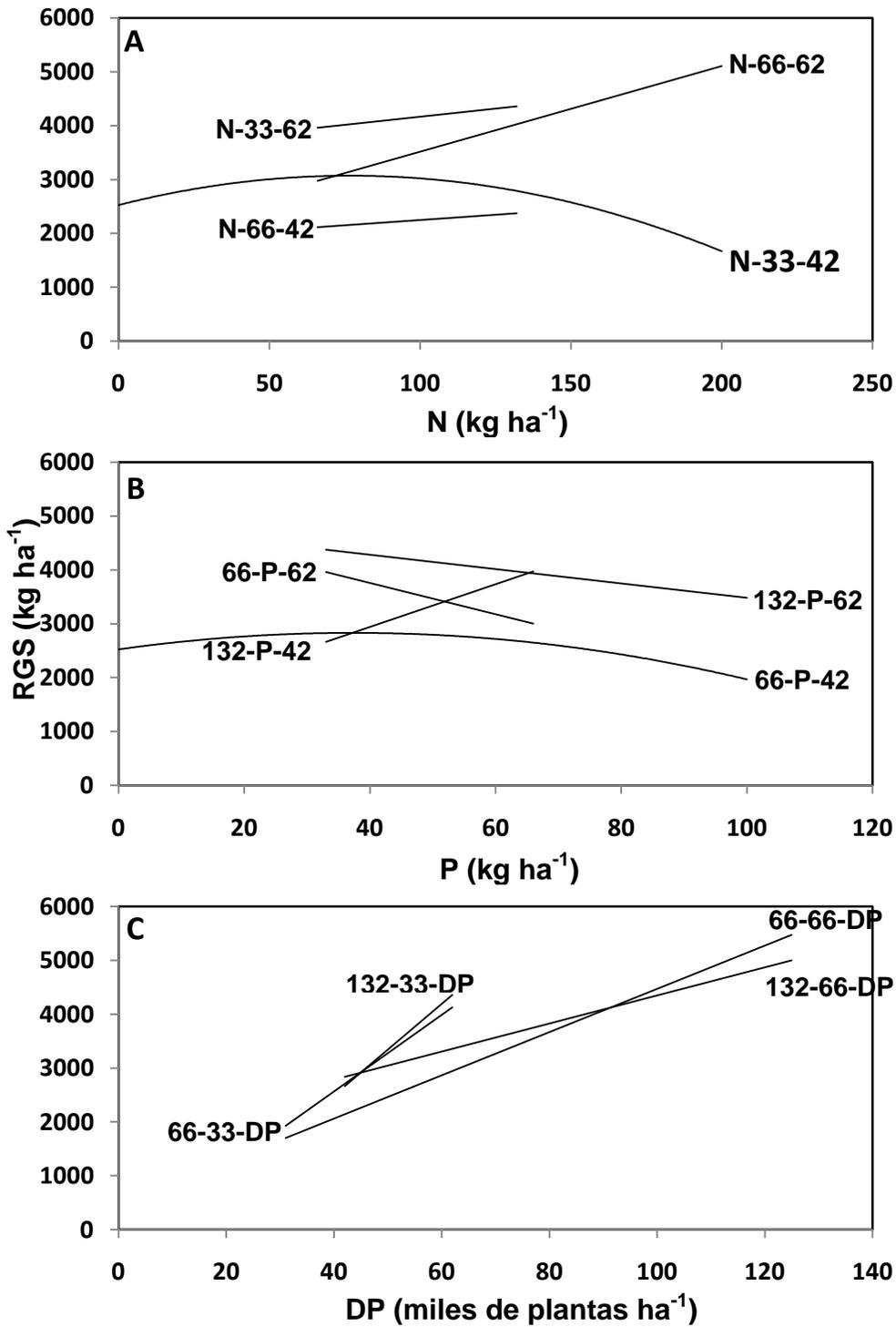


Figura 4. Efecto del fósforo (P) y densidad de población (DP) a diferentes niveles de nitrógeno (N) (A), efecto del N y P a diferentes niveles de P (B) y efecto del N y P a diferentes DP (C) sobre el rendimiento de grano seco (RGS) de haba en Cd. Serdán, Puebla. 2007.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Efecto del nitrógeno (N)

3.1.1. Variables morfológicas

3.1.1.1. Altura de planta (AP)

La altura de planta (AP) se incrementó a través del ciclo del cultivo en las 3 localidades, principalmente con la aplicación de N presentando su valor máximo a los 156 dds (Figura 5A, B y C). Resultados similares encontraron Ghizaw *et al.*, (1999) Guadarrama (2002) y Pichardo (2005). A los 127 dds Cd. Serdán presentó la mayor AP promedio con 149 cm superando a Montecillo y San Pablo en 14 y 13%; mostrando éstas localidades, a los 156 dds una AP promedio de 153 y 145 cm, respectivamente (Cuadro 1, 2 y 3 Apéndice). Una altura entre 120 y 160 cm para éstas regiones reportan Pichardo (2005), Morales (2007) y Navarro *et al.*, (2007) en diferentes cultivares de haba y niveles de fertilización.

En Montecillo, el análisis de varianza presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en las tres fechas de muestreo, siendo N2 el tratamiento con la mayor altura con 110, 136 y 162 cm a los 87, 127 y 156 dds, respectivamente. La AP más baja se encontró en el tratamiento testigo (N1) (Cuadro 1 Apéndice). Engels y Marschner (1995); Mengel y Kirkby (2001), concluyen que con deficiencia de N, la traslocación de fotoasimilados y compuestos nitrogenados hacia las raíces aumenta pudiendo llegar en la mayoría de los casos a superar al transporte del N hacia la parte aérea, disminuyendo la AP. Resultados similares se encontraron en San Pablo, ya que N1 a los 67 y 127 dds fue el de menor altura. La máxima AP se encontró con N4 siendo de 88, 36 y 156 cm a los 87, 127 y 156 dds, respectivamente (Cuadro 2 Apéndice). Al igual que en Montecillo, Cd. Serdán mostró las plantas más altas en N2 (70 y 169 cm a los 87 y 127 dds, respectivamente); mientras que las dosis altas de N (N3 y N4) afectaron significativamente la longitud de la planta (Cuadro 3 Apéndice). Estos tratamientos se pueden considerar como tóxicos para esta región o bien causaron una disminución o inhibición en la fijación de N atmosférico (Morales, 2005). La diferencia en la

asimilación de N entre las localidades se debe posiblemente a las condiciones meteorológicas que se presentaron. Carcova *et al.* (2004), señala que la relación entre el crecimiento y rendimiento de un cultivo y el N disponible está afectada por factores genéticos, ambientales y de manejo.

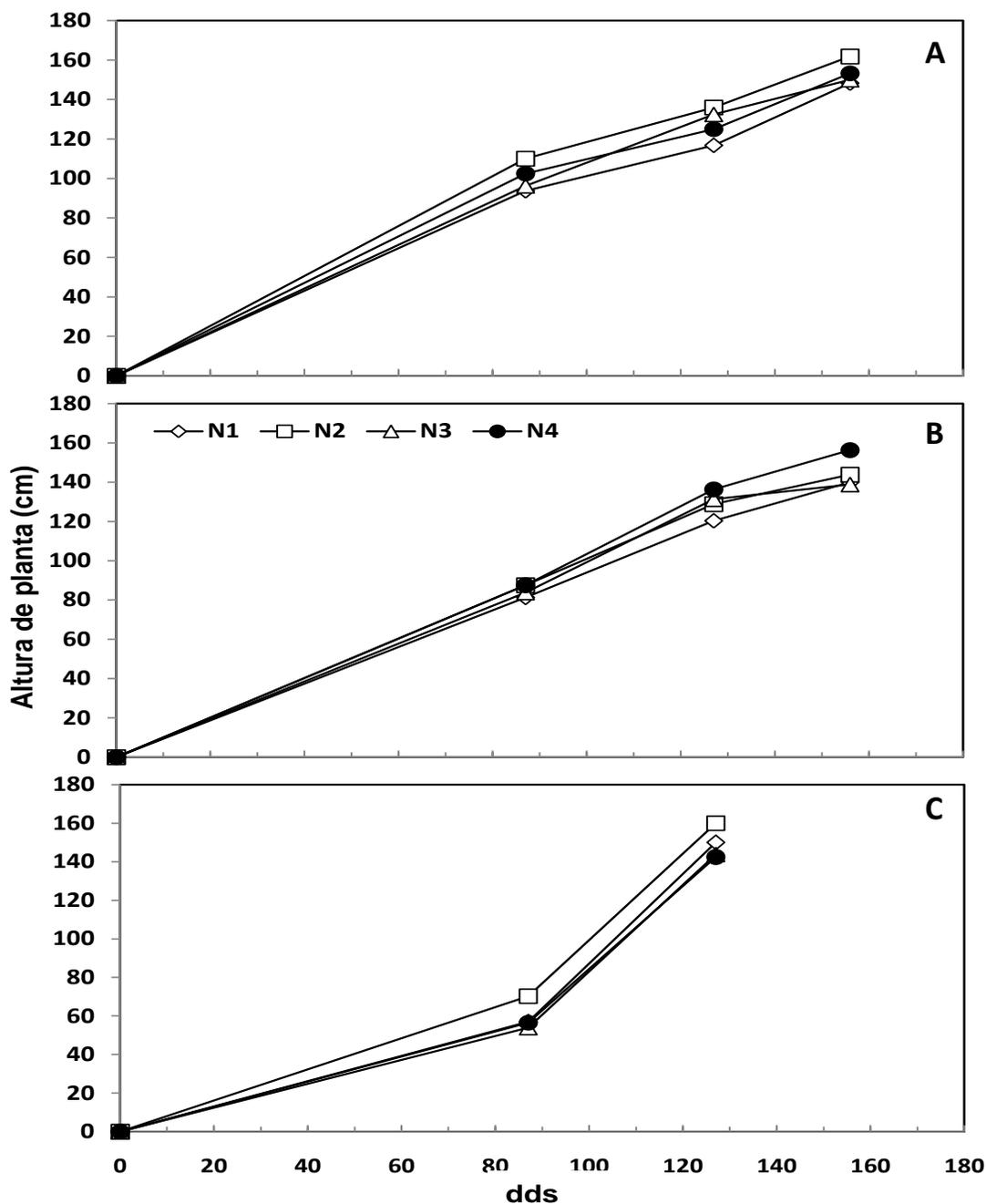


Figura 5. Dinámica de la altura de la planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

En general, la mayor AP se puede atribuir al incremento en el número de nudos (NN) ($R^2 = 0.98$) y longitud de entrenudos ($R^2 = 0.70$) (Figura 6A, y B).

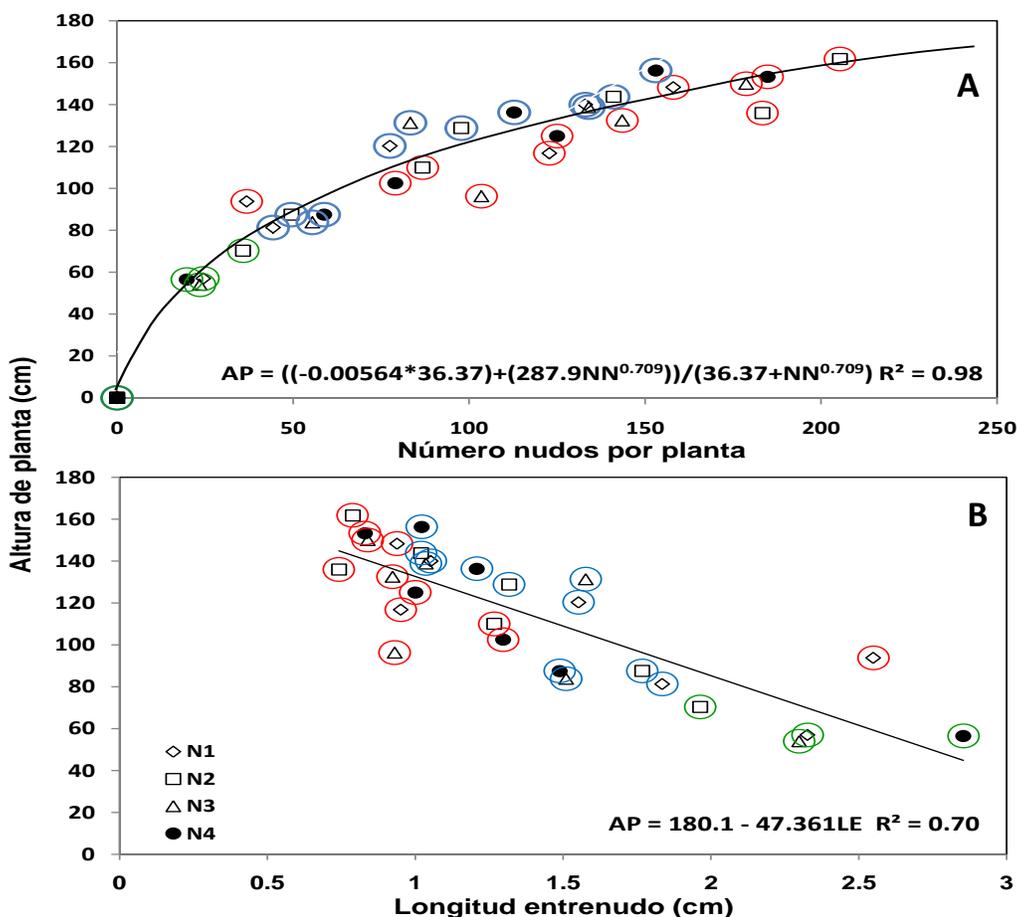


Figura 6. Relación entre la altura de planta (AP) con el número de nudos (NN) (A) y la longitud de entrenudo (LE) (B). Los puntos son datos hasta los 127dds. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

3.1.1.2. Número de nudos por planta (NN)

La aparición de nudos en la planta (tallo principal + tallos secundarios) comienza desde la emergencia y progresa hasta después de la floración (Figura 7A, B y C), como lo señalan Pichardo (2005) y Morales (2007). Durante las primeras etapas de crecimiento (87 a 127 dds), San Pablo y Cd. Serdán presentaron una baja tasa de aparición nodular en promedio 1.02 y 0.93 nudos día⁻¹, respectivamente. Mientras que en Montecillo, ésta fue más alta con 2.1 nudos día⁻¹. Posteriormente el incremento de nudos por día fue

similar entre las localidades. Así, Montecillo presentó en promedio el NN más alto en las fechas de evaluación; siendo a los 127 dds de 143.6, superando a San Pablo y Cd. Serdán en 35 y 55%, respectivamente, sin embargo Montecillo en promedio presentó la menor longitud de entrenudo (Figura 6B).

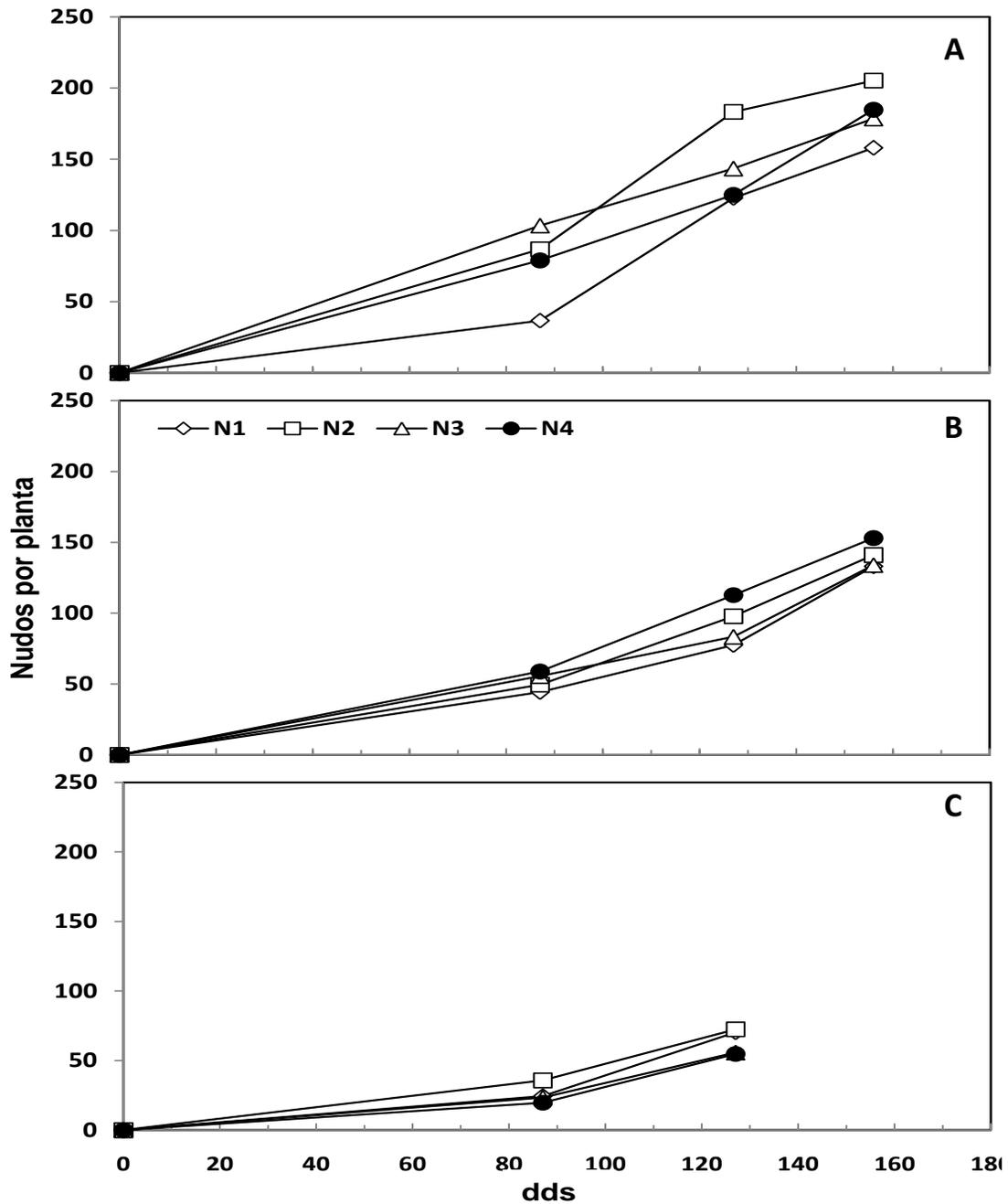


Figura 7. Dinámica del número de nudos por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

Los tratamientos evaluados provocaron cambios significativos en el NN a los 87, 127 y 156 dds en Montecillo, mientras que en San Pablo y Cd. Serdán solo se observaron a los 87 dds (Cuadro 1, 2 y 3 Apéndice). El testigo (N1), presentó el menor NN en Montecillo y San Pablo. Guadarrama (2002) y Pichardo (2005), señalan que la deficiencia de N afecta significativamente el NN. Dosis superiores a 132 kg ha⁻¹ (N3) en Cd. Serdán provocan una reducción en el NN, ya que a los 127 dds N1 y N2 presentaron 70 y 73 nudos, mientras que con N3 y N4 el NN fue inferior a 60.

En Montecillo a los 127 y 156 dds se presentó el mayor NN con N2 (183 y 205 respectivamente). Ésta dosis es menor a la que reportan Guadarrama (2002) y Pichardo (2005), sin embargo por la diferencia en temperatura en NN fue más bajo. San Pablo en contraste presentó una mejor respuesta para este carácter con la mayor aplicación de N (N4), a los 156 dds fue de 153, mientras que con N1 de 113.

3.1.1.3. Número de tallos (NT)

En la Figura 8A, B y C se muestra el NT durante el desarrollo del cultivo para las localidades en estudio. El NT más bajo se encontró a los 87 dds, incrementándose de los 127 a los 156 dds. En promedio Montecillo fue la localidad con mayor NT, mientras que en Cd. Serdán se encontraron las plantas con el menor NT. Entre otros factores, un diferente nivel de radiación (cuantitativa y cualitativamente) durante el principio del crecimiento vegetativo puede afectar el NT por planta (Gautier *et al.*, 2000)

En Montecillo a los 87 y 127 dds el NT no presentó diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, fueron significativas a los 156 dds, siendo N2 el que presentó el mayor NT (7.3 planta⁻¹) y N4 el más bajo (5.3 planta⁻¹) (Cuadro 1 Apéndice). En ésta región un NT entre 6.5 y 11.2 se han encontrado al fertilizar con 132 y 100 kg de N ha⁻¹, respectivamente (Guadarrama, 2002 y Pichardo, 2005). A los 127 dds en Cd. Serdán, N3 y N4 afectaron el desarrollo de tallos, ya que su número fue igual o inferior al tratamiento con deficiencia de N (N1). Con N2 se encontró el mayor NT (4.5 planta⁻¹) (Cuadro 3 Apéndice). En San Pablo durante el ciclo de cultivo la adición de N, no provocó cambios significativos en el NT, sin embargo, se presentó un ligero incremento

por acción del N a los 87, 127 y 156 dds oscilando entre 2.5 a 3.1, 2.5 a 4.1 y 3.8 a 4.5, respectivamente (Cuadro 2 Apéndice).

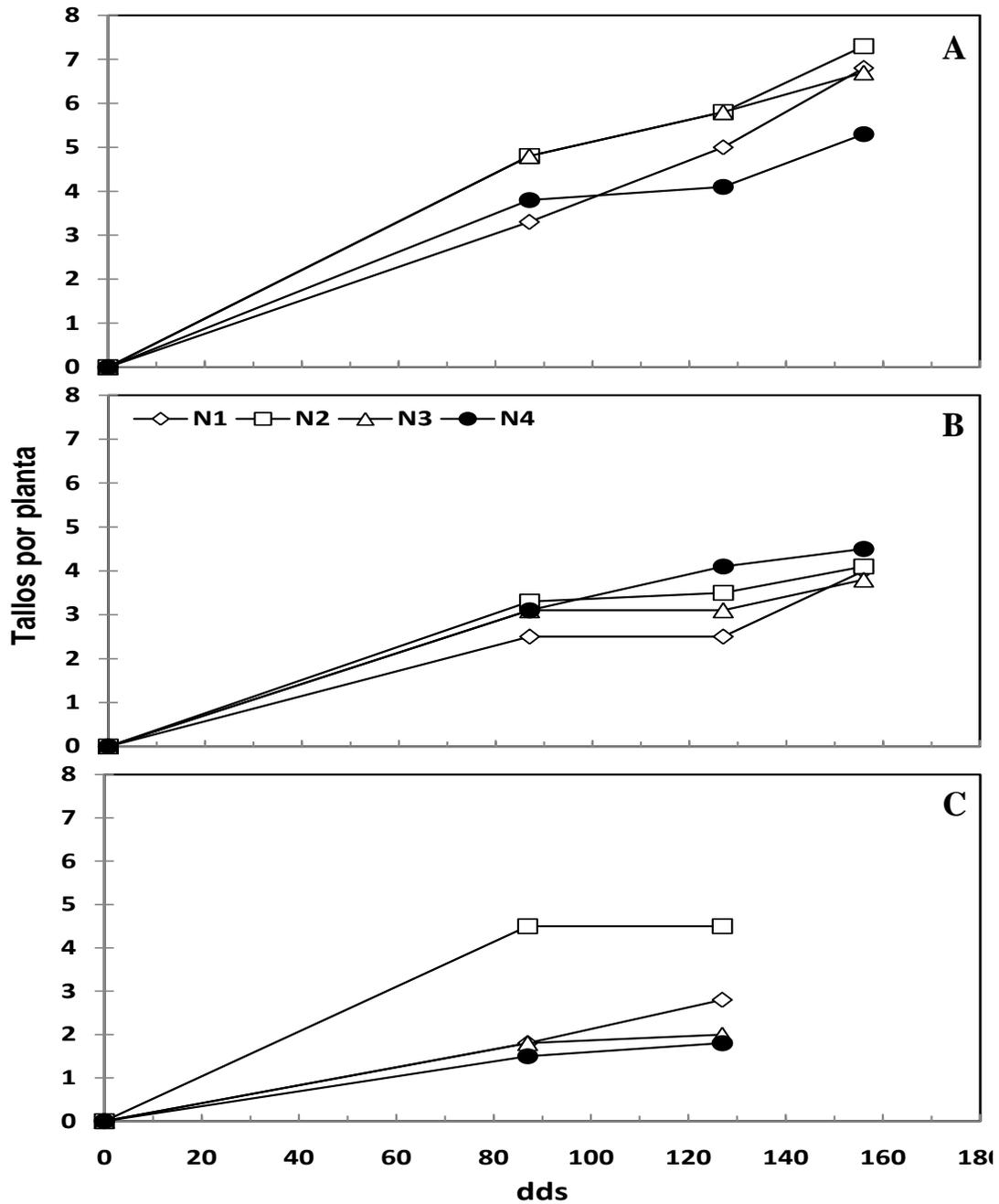


Figura 8. Dinámica del número de tallos por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

3.1.1.4. Tasa de aparición foliar (TAF)

En la Figura 9A, B y C se muestra la dinámica del número total de hojas (el tallo principal + tallos secundarios) en función del tiempo. Se considero el número de hojas hasta los 127 dds, tomando esta fecha como el cambio en la pendiente de la grafica y que se muestra la senescencia foliar. Las pendientes de las ecuaciones de regresión es la TAF. En promedio, Montecillo presentó la mayor TAF con 0.8 hojas día⁻¹ (Figura 9A) y la menor se encontró en Cd. Serdán con 0.3 hojas día⁻¹ (Figura 9C). Estas diferencias se pueden asociar a la temperatura promedio y a la intensidad de radiación que se presentaron en cada localidad (Odabas *et al.*, 2007; Butler *et al.*, 2002).

La aparición de hojas se incrementó por el suministro de N en Montecillo y San Pablo. En Cd. Serdán hubo una respuesta positiva solo hasta N2 ($R^2=0.95$), dosis superiores disminuyen la TAF (Figura 9C). En Montecillo la mayor TAF se encontró con N3 (0.9 hojas día⁻¹), mientras que en San Pablo con N4 (0.7 hojas día⁻¹) presentando un $R^2=0.97$ y 0.91, respectivamente (Figura 9A y B).

3.1.1.5. Filocrono

El inverso de la TAF proporciona estimaciones del filocrono. En la Figura 10 se muestran los valores para cada tratamiento y localidad hasta los 127 dds. N1 presentó el valor más alto en Montecillo y San Pablo con 1.7 y 2.2 días hoja⁻¹, respectivamente. Mientras que en Cd. Serdán con N3 y N4 superaron los 4.0 días hoja⁻¹. El menor tiempo a la aparición de hoja se encontró con N3, N4 y N2 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente con 1.0, 1.6 y 2.3 días hoja⁻¹. Cd. Serdán presentó en promedio los valores más altos de filocrono (Figura 10). El mayor tiempo transcurrido entre la aparición de dos hojas que se observó en Cd. Serdán se debe a la temperatura promedio más baja (Cuadro 2, Capítulo I), ya que el ambiente y dentro de este la temperatura ejerce una fuerte influencia en la TAF y filocrono (Ellis *et al.*, 1988a; Ellis *et al.*, 1988b)

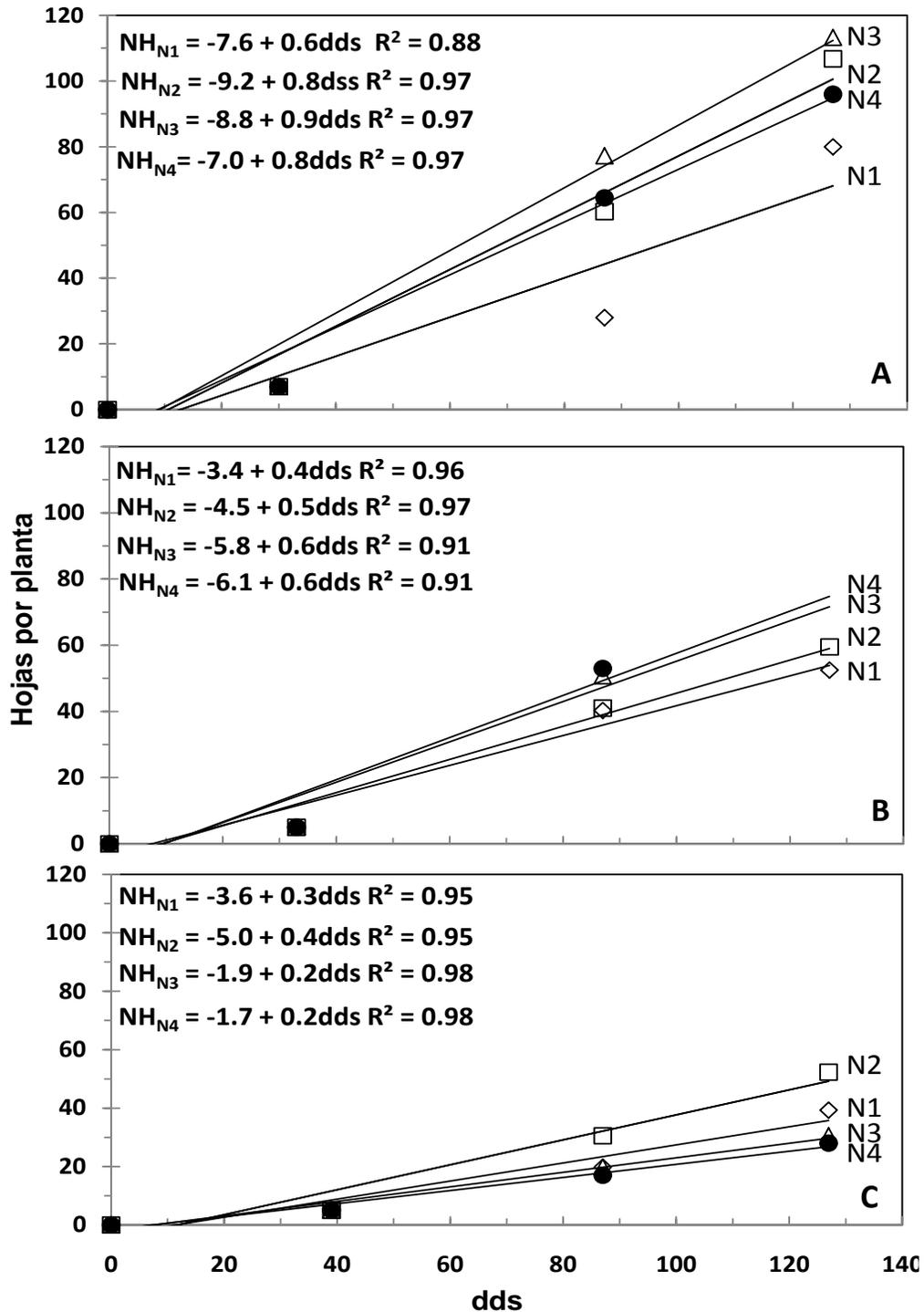


Figura 9. Dinámica del número de hojas por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

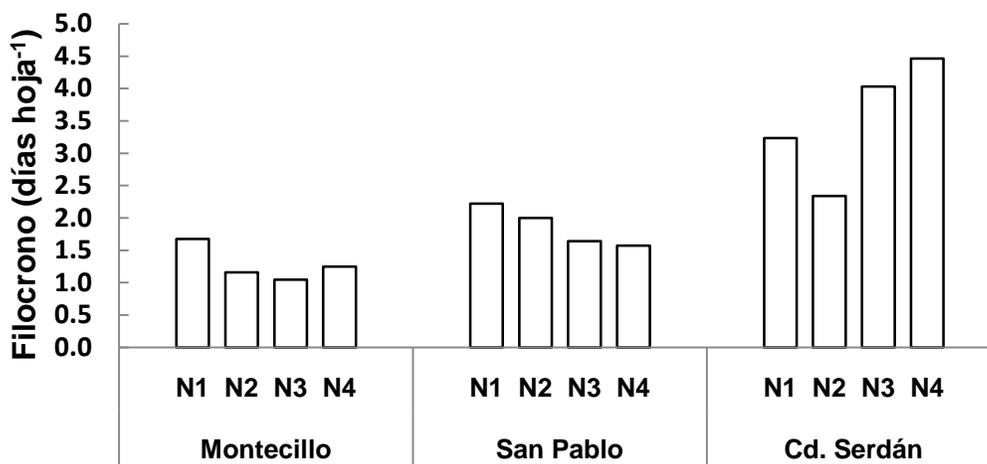


Figura 10. Estimación del filocrono con suministró de nitrógeno. Primavera 2007. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

3.1.1.6. Número de hojas (NH) y foliolulos (NF) por planta

Las plantas presentaron en todos los tallos, una hoja por nudo en filotaxia alterna. En promedio el NH en Montecillo y San Pablo aumenta desde la emergencia hasta los 127 dds donde se encuentra el mayor NH, en Cd. Serdán posiblemente es posterior a esta fecha. Morales (2007), reporta en Montecillo el mayor NH en diferentes cultivares de haba a los 110 dds. Así, hasta los 156 dds el NH en Montecillo y San Pablo se ajustó a un modelo polinomial (Cuadro 2) que constó de una fase logarítmica o exponencial, seguida de una fase lineal y una tasa de senescencia. Similar al encontrado por Pilbeam *et al.* (1989); Loss *et al.* (1997) y Boote *et al.* (2002). El coeficiente de determinación (R^2) osciló entre 0.76 y 0.95. En Cd. Serdán el modelo fue lineal hasta los 127 dds con un R^2 entre 0.94 y 0.98.

El NH por planta en Montecillo presentó variación por el suministro de N ($P \leq 0.05$) a los 87 dds, sin embargo, a los 127 y 156 las diferencias no fueron significativas. En San Pablo ($P \leq 0.05$) el N provocó diferencias a los 87 y 156 dds, mientras que en Cd. Serdán fueron a los 87 y 127 dds ($P \leq 0.05$) (Cuadro 1, 2 y 3 Apéndice).

Cuadro 2. Ecuaciones que estiman el número de hojas (NH) en haba en base a los días después de la siembra (DDS) con aplicación de nitrógeno. Primavera 2007.

Tratamiento	Ecuación	R ²
Montecillo		
N1	$NH = -7.69E-12 + 1.427999 DDS - 0.06256016 DDS^2 + 0.0008553 DDS^3 - 3.2E-6 DDS^4$	0.95
N2	$NH = -5.23E-12 + 0.67592583 DDS - 0.02892908 DDS^2 + 0.00054507 DDS^3 - 2.42E-06 DDS^4$	0.93
N3	$NH = -2.38E-12 - 0.02248405 DDS + 0.00439614 DDS^2 + 0.00017347 DDS^3 - 1.19E-06 DDS^4$	0.84
N4	$NH = -1.90E-12 + 0.0965822 DDS + 0.0002166 DDS^2 + 0.0001774 DDS^3 - 1.09E-06 DDS^4$	0.90
San Pablo		
N1	$NH = 6.61E-13 + 0.02028882 DDS + 0.00115383 DDS^2 + 0.0001102 DDS^3 - 7.47E-07 DDS^4$	0.91
N2	$NH = 1.16E-12 + 0.1024799 DDS - 0.0028133 DDS^2 + 0.0001604 DDS^3 - 9.11E-07 DDS^4$	0.76
N3	$NH = -4.74E-12 - 1.1362047 DDS + 0.0552321 DDS^2 - 0.0005423 DDS^3 + 1.55E-06 DDS^4$	0.88
N4	$NH = -3.92E-12 - 0.9535558 DDS + 0.0462457 DDS^2 - 0.0004242 DDS^3 + 1.14E-06 DDS^4$	0.84
Cd. Serdán		
N1	$NH = -3.5581414 + 0.3092196 DDS$	0.94
N2	$NH = -5.0600266 + 0.4268384 DDS$	0.95
N3	$NH = -1.9176499 + 0.2486980 DDS$	0.98
N4	$NH = -1.6882307 + 0.2243199 DDS$	0.98

El número de datos (n) para la estimación fue de 20. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

A los 127 dds en Montecillo, el tratamiento N1 presentó el menor NH siendo estadísticamente a N4 (80 y 96, respectivamente). N2 y N3 registraron los valores más altos con 107 y 113 (Cuadro 1 Apéndice). Estos resultados coinciden con Pichardo (2005) quien encontró el mayor NH al suministrar 132 kg N ha⁻¹ en la misma localidad. En San Pablo el comportamiento fue similar, aunque no existieron diferencias significativas, el mayor NH se encontró con N2, mientras que con N4 se retrasó la aparición de hojas (Cuadro 2 Apéndice). La misma dosis suministrada en Cd. Serdán, al igual que N3 redujo el NH, con relación al testigo (28, 30 y 39 hojas, respectivamente). Con N2 se favoreció el desarrollo foliar (52 hojas) (Cuadro 3 Apéndice). Así, dosis por encima del óptimo para la producción de hojas, es decir N3 en Montecillo y N2 en San Pablo y Cd. Serdán, se podrían considerar en el experimento como elevadas a tóxicas por la reducción del crecimiento de la parte aérea.

El NF presentó un patrón similar al NH y al encontrado por Pichardo (2005) y Morales (2007), incrementándose durante los primeros días de crecimiento para después

disminuir, debido a la abscisión y senescencia, provocada por la demanda de fotoasimilados por las estructuras reproductivas (flores y frutos). En general, a los 127 dds Montecillo presentó el mayor NF con 493.0 seguido de San Pablo y Cd. Serdán con 232 y 218, respectivamente. Debido al número de foliolos por hoja tratamientos con el NH más alto, no presentaron el mayor NF. Así, en Montecillo y Cd. Serdán destacó la dosis de N2 con 660 y 249 foliolulos planta⁻¹, mientras que en San Pablo fue N4 con 200 foliolulos planta⁻¹ (Cuadro 1, 2 y 3 Apéndice). Un mayor NH y NF en los tratamientos con N se debe a que éste elemento incrementa el contenido de clorofila por unidad de área y disminuye la relación C:N, generando una mayor actividad fotosintética (Andrews *et al.*, 1985). El incremento en el NH se debió a un mayor NN en el tallo principal y tallos secundarios inducidos por el nitrógeno (Figura 11).

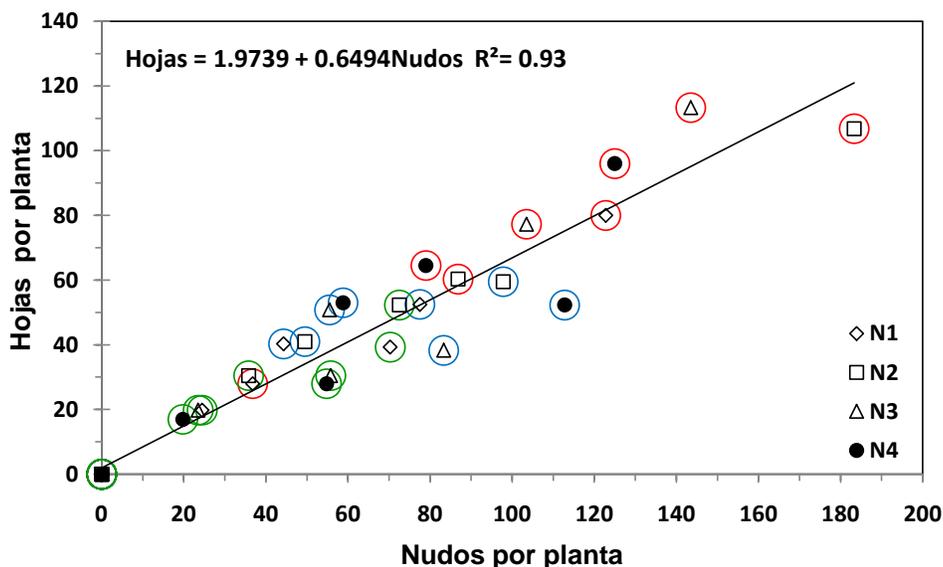


Figura 11. Relación entre el número de hojas con el número de nudos. Los puntos son datos hasta los 127 dds. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

3.1.1.7. Área foliar (AF) y tasa de expansión foliar (TEF)

En Montecillo y San Pablo todos los tratamientos presentaron la mayor área foliar a los 127 dds, destacando Montecillo con un promedio de 13970 cm² planta⁻¹ y una TEF de 104 cm² día⁻¹; superando en más del 100% a San Pablo que presentó un AF de 6775 cm² planta⁻¹ y una TEF de 55 cm² día⁻¹. Cd. Serdán en el mismo período alcanzó 5620

cm^2 , es decir, aproximadamente $41 \text{ cm}^2 \text{ día}^{-1}$ (Cuadro 3). La mayor AF encontrada en Montecillo se debe a que la temperatura promedio que se registra en la región (Cuadro 2, Capítulo I), está más cerca de la óptima para el desarrollo foliar (19.9 a $23.0 \text{ }^\circ\text{C}$, Ellis *et al.*, 1988a)

Así, el N en Cd. Serdán provocó diferencias significativas en el AF durante las primeras etapas de crecimiento del cultivo (87 dds) extendiéndose hasta los 127 dds en Montecillo (Cuadro 1 Apéndice). En San Pablo, la tendencia fue similar, ya que no existieron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, a los 87, 127 y 156 dds la mayor AF se observó con N4 (Cuadro 2 Apéndice). Por ejemplo, a los 127 dds se presentó la máxima área foliar (MAF) con $8400 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ y la mayor TEF ($67 \text{ cm}^2 \text{ día}^{-1}$) superando en 32% al testigo (N1) que presentó 569 cm^2 de AF debido a una menor TEF ($47 \text{ cm}^2 \text{ día}^{-1}$). Con N2 y N3 en Montecillo se presentó la mayor TEF (124 y $127 \text{ cm}^2 \text{ día}^{-1}$, respectivamente) y por lo tanto AF más alta. Así, la MAF fue de 16350 y 17400 cm^2 , respectivamente. El testigo alcanzó menos de $10000 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$, que es aproximadamente 4000 cm^2 más de la mejor respuesta encontrada en Cd. Serdán, donde con N2 se encontró la MAF, siendo de $6180 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$, superando por 900 , 440 y 900 cm^2 a N1, N3 y N4. Así mismo, la TEF fue de 38 , 47 , 42 y $38 \text{ cm}^2 \text{ día}^{-1}$, al incrementar de N1 a N4 (Cuadro 3). El incremento del AF puede asociarse al mayor NT que genera la fertilización nitrogenada, así como el incremento en la síntesis de ácidos nucleicos y otros orgánulos celulares disponibles para sostener la generación de la superficie foliar (Marsehner, 1995).

De acuerdo a la MAF y la TEF la duración efectiva de expansión foliar (DEEF) sería de 134 , 123 y 136 días en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. El N no cambió significativamente la DEEF, aunque en Montecillo y San Pablo se requiere una DEEF mayor para lograr la MAF, mientras que en Cd. Serdán ésta es la más baja.

Cuadro 3. Tasa de expansión foliar (TEF), Máxima área foliar (MAF), duración efectiva de expansión foliar (DEEF) y Tasa relativa de senescencia (TRS) en haba con aplicación de nitrógeno. Primavera 2007.

Tratamiento	TEF (cm ² día ⁻¹)	MAF (cm ²)	DEEF (días)	TRS ₁₂₇₋₁₅₆ (cm ² cm ⁻² día ⁻¹)	TRS _{156-MF} (cm ² cm ⁻² día ⁻¹)
Montecillo					
N1	73.0	9950.0	136.0	0.057	0.182
N2	124.0	16350.0	132.0	0.059	0.111
N3	126.6	17400.0	137.0	0.046	0.182
N4	93.7	12180.0	130.0	0.050	0.125
Promedio	104.3	13970.0	133.8	0.053	0.150
San Pablo					
N1	46.7	5675.0	122.0	0.063	0.182
N2	54.1	6830.0	126.0	0.056	0.125
N3	51.6	6197.2	120.0	0.061	0.118
N4	67.4	8400.0	125.0	0.055	0.143
Promedio	55.0	6775.6	123.3	0.059	0.142
Cd. Serdán					
N1	38.4	5275.0	137.0		
N2	46.9	6180.0	132.0		
N3	41.7	5750.0	138.0		
N4	38.3	5275.0	138.0		
Promedio	41.4	5620.0	136.3		

N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹. MF: madurez fisiológica.

3.1.1.8. Tasa relativa de senescencia (TRS)

La TRS fue alta con N1 en Montecillo y San Pablo durante los períodos evaluados (127–156 y 156–MF) y disminuyó con dosis altas de N (N3 y N4) (Cuadro 3). El incremento en la TSF se debe posiblemente a la reducción en el contenido de clorofila (indicador básico del proceso) y que es más significativo en el testigo (sin N). El efecto de N sobre la TRS fue más significativo de los 156 dds a MF. Las diferencias en este periodo fueron aproximadamente en 100% en comparación con el primer período. Dicho incremento se puede deber a la formación de los componentes de rendimiento que se expresan más significativamente durante el segundo período.

3.1.1.9. Índice de área foliar (IAF)

El N provocó cambios significativos a los 87 y 127 dds en Montecillo y a los 87 dds en Cd. Serdán. En San Pablo no se presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos (Cuadro 1, 2 y 3 Apéndice). El IAF se incrementa constantemente hasta los 127 dds, disminuyendo a los 156 dds principalmente en los tratamientos con el menor suministro de N debido a que se incrementa la senescencia foliar, como se muestra en la Figura 12, donde se observa que un menor IAF corresponde a una mayor TRS ($R^2=0.85$). Montecillo y San Pablo en promedio alcanzaron un IAF máximo de 5.9 y 2.8, respectivamente. Mientras que en Cd. Serdán a los 127 fue de 2.4 (Cuadro 1 Apéndice). Con respecto a los tratamientos, la dosis de N3 y N2 presentaron el mayor IAF en Montecillo y Cd. Serdán con 6.9 y 2.6, respectivamente (Figura 13A y C). En San Pablo, la respuesta más alta (3.53) se encontró con N4 (Figura 13B). El menor IAF en las tres regiones se presentó con deficiencia de N (N1). Siendo de 4.1, 2.4 y 2.2 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Figura 13A, B y C). Boote *et al.* (2002) y Pichardo (2005) encontró que al incrementar el nivel de N el IAF aumentó. Mínguez *et al.* (1993), obtuvieron un IAF crítico cercano a 5 el cual se relaciona con una mayor producción de biomasa, valores superiores redujeron el IC. En la Figura 14A, B y C, se puede observar que el incremento en el IAF por el N se debe al mayor NF ($R^2=0.90$), AF ($R^2=0.99$) y TEF ($R^2=0.99$).

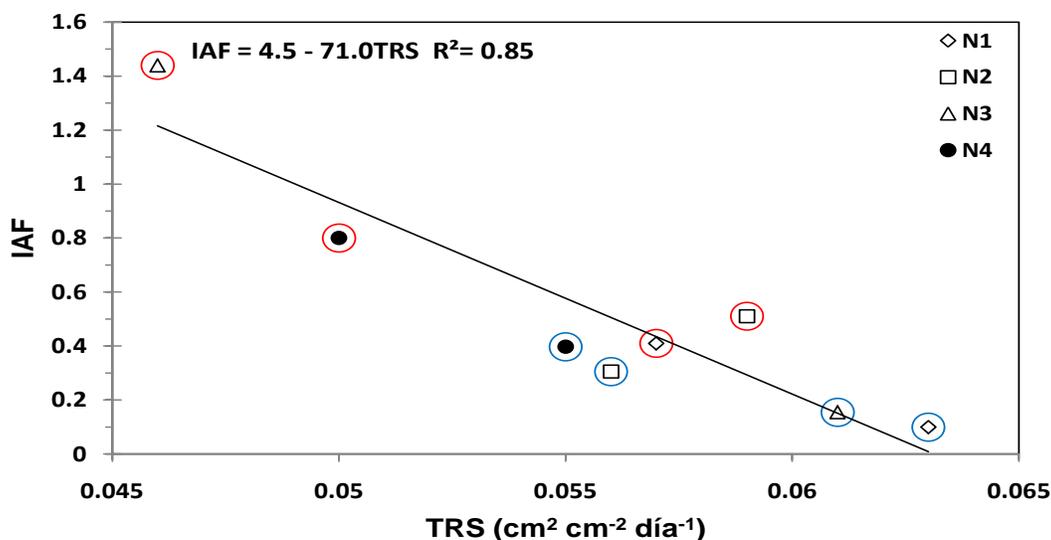


Figura 12. Relación entre índice de área foliar (IAF) a los 156 dds y la tasa relativa de senescencia (TRS) durante el periodo 127–156. Datos entre círculos rojos y azules corresponden a Montecillo y San Pablo, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

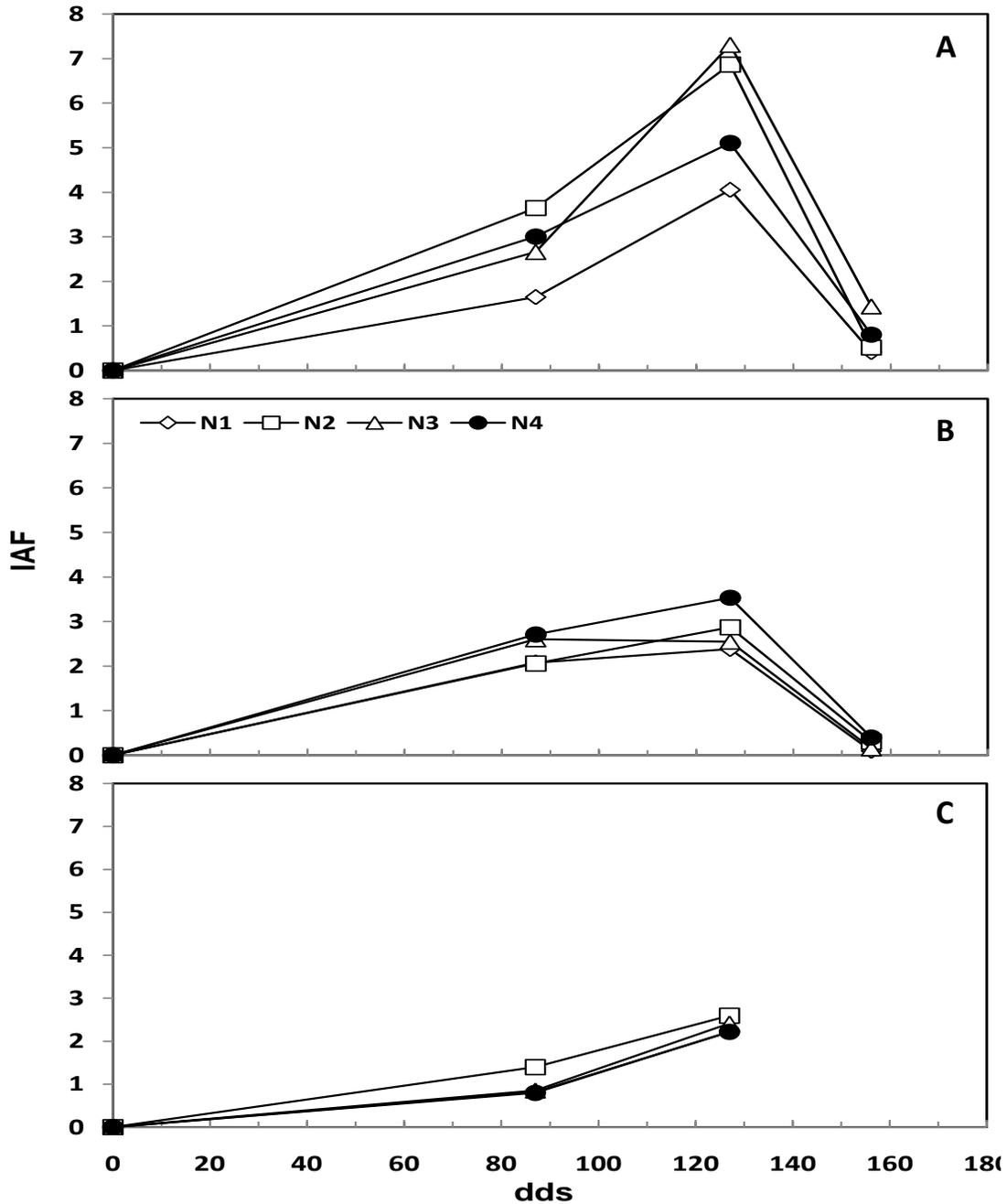


Figura 13. Dinámica del índice de área foliar (IAF) en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

3.1.2. Duración del área foliar (DAF)

La DAF permite estimar el tiempo en donde el AF es funcional como maquinaria fotosintética (Escalante y Kohashi, 1993). En promedio durante el ciclo del cultivo la

mayor DAF se encontró a los 127 dds, sobresaliendo Montecillo con 168 días seguido de San Pablo y Cd. Serdán con 104 y 66 días, respectivamente. Generalmente a los 87, 127 y 156 dds, el N incrementó la DAF en las tres localidades con excepción de Cd. Serdán, donde N1 y N4 presentaron resultados similares (Cuadro 1, 2 y 3 Apéndice). Sin embargo, en general la DAFT fue más alta con la aplicación de N.

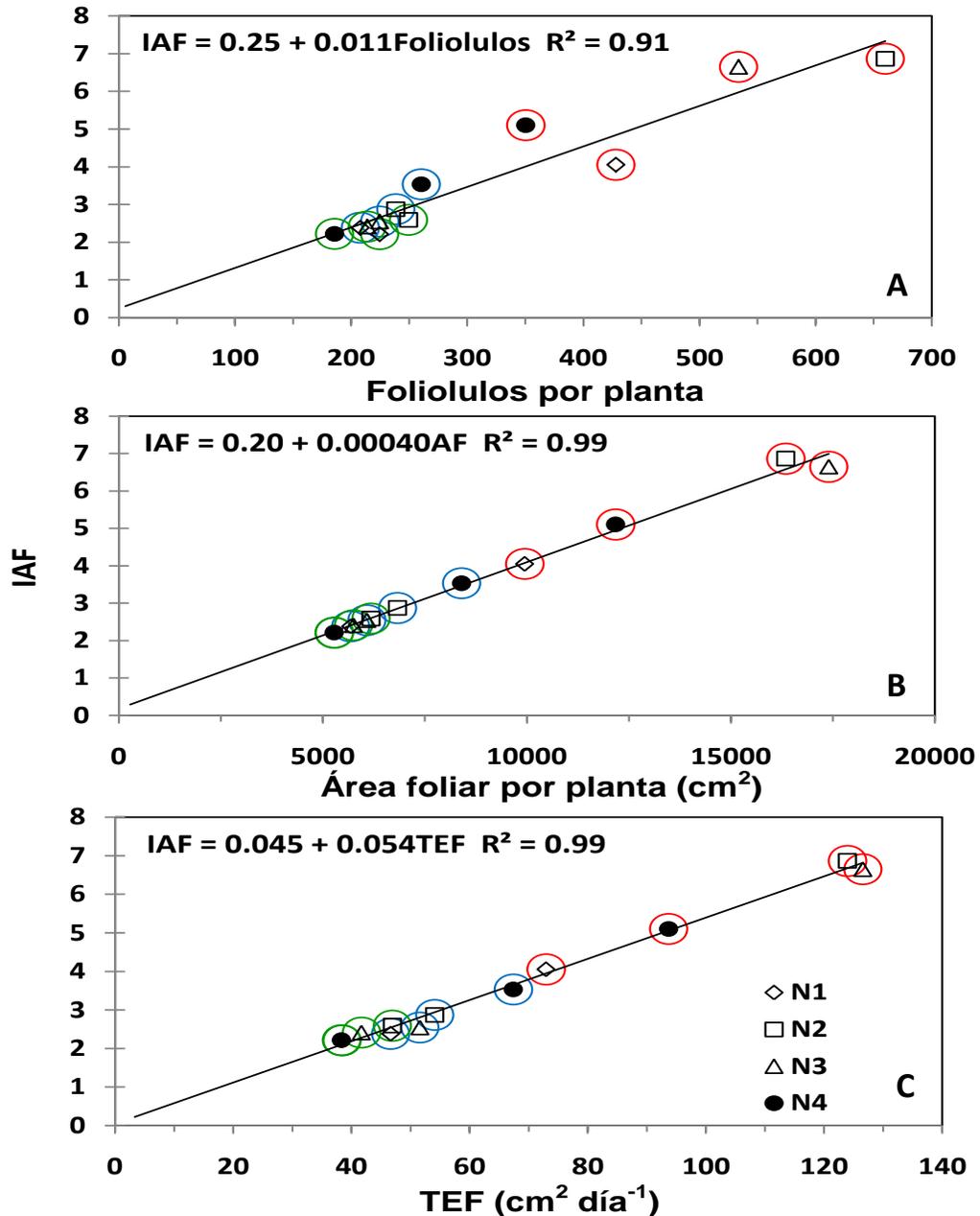


Figura 14. Relación entre el máximo índice de área foliar (IAF) y el máximo número de foliolulos (A), máxima área foliar (AF) (B) y tasa de expansión foliar (TEF) (C). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

En Montecillo al suministrar N3 se encontró la mayor DAFT con 489 días superando en 84 y 111 días a N2 y N4. El tratamiento presentó la menor DAFT (251 días) (Cuadro 1 Apéndice). Al respecto, Pichardo (2005) encontró la mayor DAFT con 132 kg N ha⁻¹, siendo de 213 días, la mayor duración del área foliar observada en este trabajo se debió al IAF más alto. Como se observa en la Figura 15A el IAF influye altamente en la DAFT ($R^2=0.92$). La DAFT en San Pablo no presentó cambios significativos por los tratamientos evaluados, debido a que IAF entre tratamientos fue similar (Cuadro 2 Apéndice). No obstante, el N amplió la DAFT. Así, la DAFT más alta y baja se presentó con N4 y N1, siendo 300 y 215 días, respectivamente. Una DAFT de 300 días encontró Mínguez *et al.* (1993), y además observaron la dependencia del IAF sobre la DAFT. En Cd. Serdán hasta los 127 dds la DAFT con N2 (140 días) fue estadísticamente superior a N1, N3 y N4 (96, 120 y 95 días) (Cuadro 3 Apéndice). Además del IAF la DAFT presenta una alta relación con el AF ($R^2=0.93$) y en menor grado el NF ($R^2=0.74$) (Figura 15A y C)

3.1.3. Porcentaje de radiación interceptada (RI)

En la Figura 16A, B y C, se observa que desde las primeras etapas (87 dds) en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, el haba con N mostró una mayor cobertura vegetal lo que permitió interceptar el mayor porcentaje de radiación. En Montecillo el 100% de la RI se observó a los 127 dds con N3, seguida de N2 con 99.1%. Después de esta fecha la RI disminuyó (Cuadro 1 Apéndice). Pichardo (2005) observó una RI entre el 98 y 98.8% en cultivares de haba al suministrar 132 kg N ha⁻¹. Un comportamiento similar a Montecillo se observó en San Pablo, sin embargo, (aunque no existieron diferencias significativas) el porcentaje de RI fue menor. A los 127 dds fue de 80, 85, 81 y 86% con N1, N2, N3 y N4, respectivamente (Cuadro 2 Apéndice). En contraste, Cd. Serdán con N4 presentó la menor RI (78.6%) y la mayor en N3 (Cuadro 3 Apéndice). Morales (2007), concluye que altos niveles de N, pueden no ser absorbidos por la planta debido a la gran movilidad y volatilidad del N en el suelo, provocando pérdidas por lixiviación y/o volatilización y por tanto se afecta el desarrollo foliar y en consecuencia la RI.

El porcentaje de RI durante el ciclo de cultivo, en promedio fue mayor en Montecillo debido a la mayor AF y componentes que se encontró en esta localidad en comparación con San Pablo y Cd. Serdán. Así, el incremento de la RI fue consecuencia de un mayor IAF ($R^2=0.83$), AF ($R^2=0.86$), NF ($R^2=0.90$) y DAFT ($R^2=0.72$). Los modelos que explican ésta relación fueron cuadrático, geométrico modificado, asociación exponencial y lineal (Figura 17 A, B, C y D).

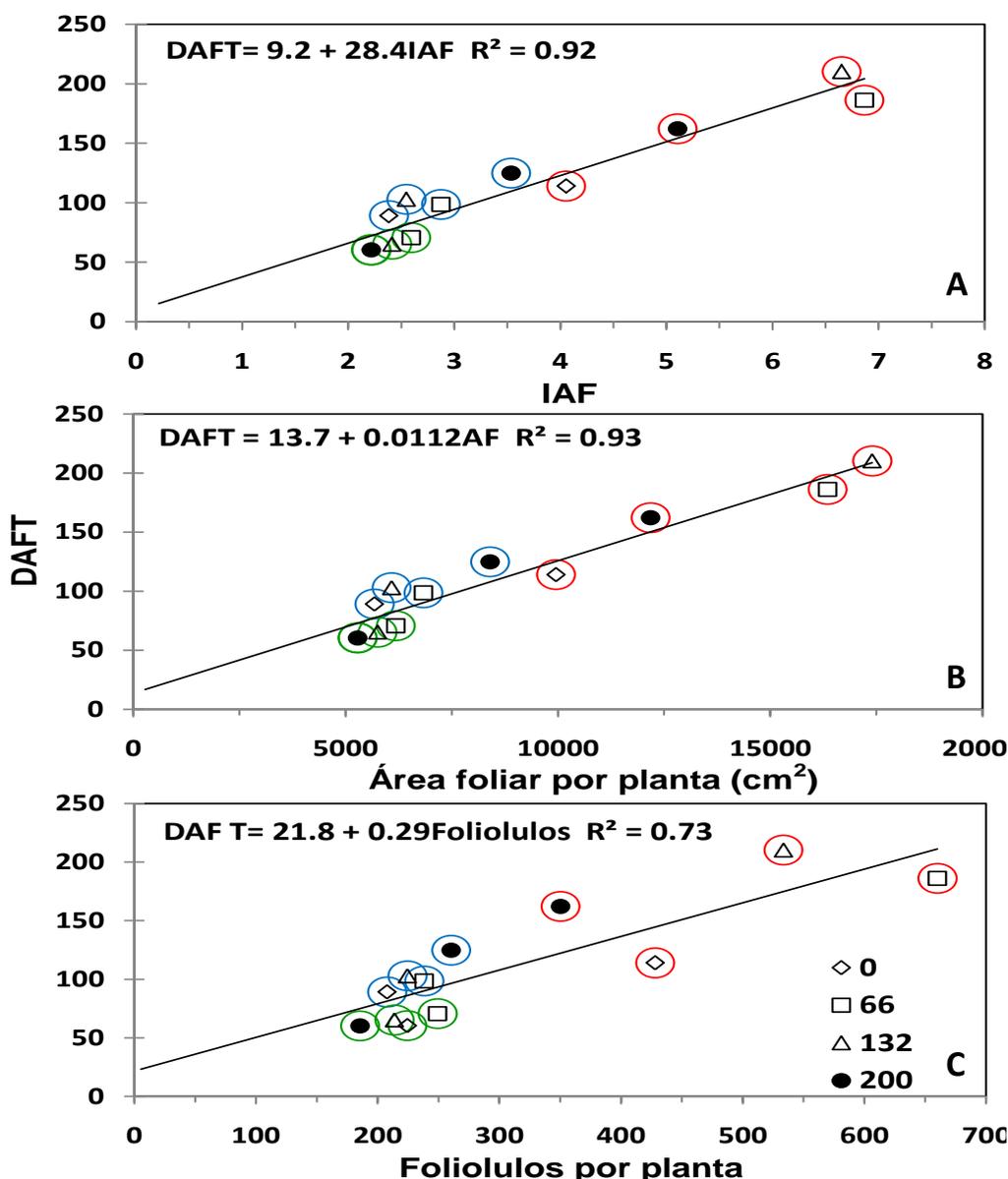


Figura 15. Relación entre la duración del área foliar total (DAFT) y el máximo índice de área foliar (IAF) (A), máxima área foliar (AF) (B) y máximo número de foliolulos (C). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

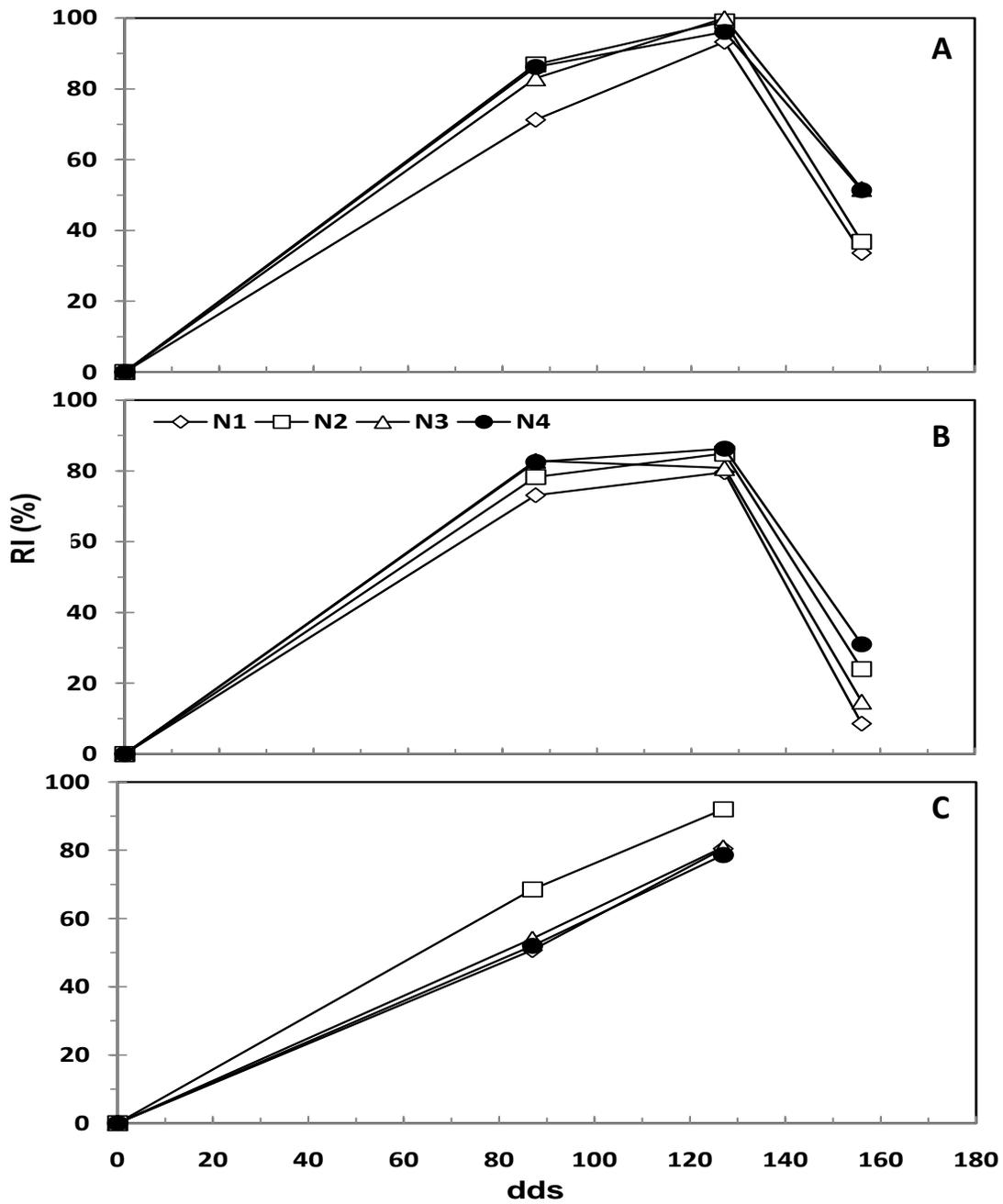


Figura 16. Dinámica del porcentaje de radiación interceptada (RI) en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

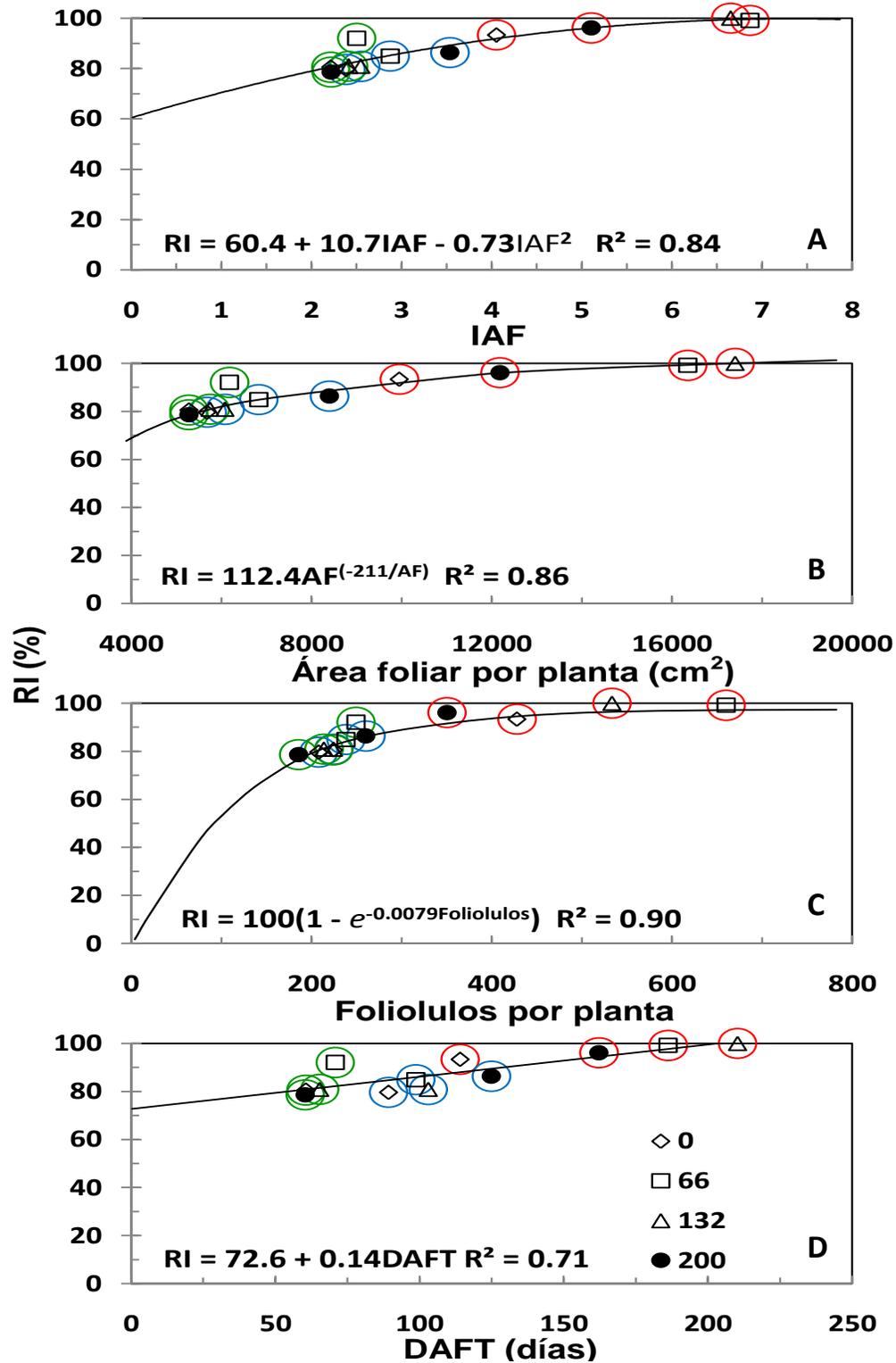


Figura 17. Relación entre la radiación interceptada (RI) y el máximo índice de área foliar (IAF) (A), máxima área foliar (AF) (B), máximo número de foliolulos (C) y duración del área foliar total (DAFT) (D). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

3.1.4. Acumulación de materia seca

3.1.4.1. Materia seca en hoja

En la Figura 18, 19 y 20 se muestra el efecto de los diferentes niveles de N sobre la acumulación de materia seca en hoja (AMSH) durante el ciclo del cultivo en las 3 localidades. En Montecillo en promedio se presentaron los valores más altos, seguido de Cd. Serdán. Mientras que San Pablo presentó la menor materia seca foliar. Las diferencias en la AMSH entre los tratamientos fueron no significativas ($P \geq 0.05$) a los 87, 127 y 156 dds en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán (Cuadro 4, 5 y 6 Apéndice). Sin embargo, la mayor AMSH se encontró a los 127 dds en N2, N3 y N2 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, siendo de 603, 155 y 158 g m⁻², respectivamente, superando al testigo (N1) en 34, 11 y 1.2%, respectivamente (Cuadro 4, 5 y 6 Apéndice). La mayor AMSH en Montecillo se debe al incremento en el desarrollo foliar ya que ésta se relaciona en un 80% con el AF ($R^2=0.80$) e IAF ($R^2=0.96$) (Figura 21A y B). En Montecillo y San Pablo, en todos los tratamientos se observa después de los 127 días una caída en la AMSH, debido a la senescencia y abscisión foliar y además de la posible translocación de fotosintatos y componentes nitrogenados a la semilla como lo sugiere Pilbeam *et al.*, (1989) y Pichardo (2007). En promedio la caída en la AMSH fue de 308 (70%) y 60 (42%) g m⁻² en Montecillo y San Pablo, respectivamente. La mayor caída en Montecillo se puede explicar por la mayor redistribución de MS hacia el tallo en comparación con San Pablo.

3.1.4.2. Materia seca en tallo

La acumulación de materia seca en tallo (AMST) en los diferentes tratamientos se observa en la Figura 18 19 y 20. En San Pablo y Cd. Serdán no se observaron diferencias significativas durante el ciclo del cultivo, en contraste en Montecillo existieron a los 87 y 127 dds. La AMST en promedio se incrementó a medida que avanzó la estación de crecimiento hasta alcanzar un máximo a los 156 dds en Montecillo (483 g m⁻²) y San Pablo (416 g m⁻²). Cd. Serdán a los 127 dds presentó una AMST de 280 g m⁻². Así, en Montecillo la máxima AMST fue de 492, 460, 497 y 485 g m⁻² con N1, N2, N3 y N4, respectivamente (Cuadro 4 Apéndice). En San Pablo correspondió a 398, 480, 344 y 441 g m⁻² y de 309, 260, 282 y 271 g m⁻² en Cd. Serdán

(Cuadro 5 y 6 Apéndice). De manera general la AMST entre tratamientos mostró el siguiente orden: N3>N1>N4>N2, N2>N4>N1>N3 y N1>N3>N4>N2 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. Esto demuestra la influencia del ambiente y la fertilización nitrogenada sobre la capacidad del cultivo en almacenar materia seca en el tallo o bien removilizarla a otros órganos como la semilla. Generalmente a partir del cuarto tallo no llegan a aportar vainas. Estos tallos sufren una rápida senescencia y quizá constituyen una fuente de asimilados a los granos, pero la formación de su biomasa ha ejercido cierta competencia (Gardner *et al.*, 1985). En general la biomasa hasta los 156 dds muestra una relación alta con la altura de planta ($R^2=0.88$) y en menor grado con el número de tallos ($R^2=0.76$) (Figura 22) después de los 156 dds la AMST disminuye debido a que algunos tallos senescen prematuramente desprendiéndose de la planta.

3.1.4.3. Materia seca en fruto (pericarpio + semilla)

En Montecillo y San Pablo la acumulación de materia seca en fruto (AMSF) comenzó desde los 87 dds (Figura 19 y 19), mientras que en Cd. Serdán se registró 40 días después (Figura 17). Estas diferencias se asocian a la temperatura más baja promedio que se registra en Cd. Serdán, Turpin *et al.* (2003) encontró una temperatura óptima para el inicio y desarrollo de la vaina de 19 °C y a medida de que ésta disminuye dichas etapas fenológicas se retrasan. Pichardo (2005) y Morales (2007) en Montecillo registraron el inicio de la AMSF entre los 90 y 115 dds. Sin embargo, en las tres localidades la AMSF máxima se alcanzó a la madurez fisiológica (MF). En promedio fue de 317, 359 y 349 g m⁻² en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. La máxima AMSF presentó diferencias por el N, en San Pablo y Cd. Serdán ($P\leq 0.05$) en Montecillo no se observaron. La menor AMSF en Montecillo (229 g m⁻²) y San Pablo (206 g m⁻²) se encontró en el testigo, mientras que en Cd. Serdán (236 g m⁻²) se logró con la aplicación de 200 kg de N ha⁻¹. Así, los valores más altos de 441, 474 y 446 g m⁻² se encontraron con N3, N4 y N2 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadro 4, 5 y 6 Apéndice).

3.1.4.4. Materia seca total

La acumulación de materia seca total (AMSTO) a lo largo del ciclo de cultivo registró diferencias significativas entre tratamientos a los 87 dds en Montecillo, 156 y MF en San Pablo y MF en Cd. Serdán. Generalmente la AMSTO en Montecillo se incrementó hasta los 127 dds para posteriormente disminuir a los 156 dds y MF (Figura 18). En San Pablo y Cd. Serdán solo disminuyó hasta la MF (Figura 19 y 20). La pérdida en la AMSTO se debe principalmente a la caída en la acumulación materia seca en hoja y tallo. Resultados similares encontraron De Costa *et al.* (1997) y Thomson y Siddique (1997). En promedio la mayor AMSTO se encontró a los 127, 156 y 127 dds en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán y fue de 886, 726 y 640 g m⁻², respectivamente. Una acumulación de 700 y 651 g m⁻², reportan Guadarrama *et al.* (2007) y Escalante y Rodríguez (2002a) en Montecillo y Tequexquinahuac, respectivamente, ésta última localidad con clima similar a San Pablo.

Con respecto a los tratamientos en Montecillo a los 127 dds la mayor AMSTO se encontró con N1, N2 y N3, mientras que la más baja la mostró N4. Sin embargo, éste tratamiento a los 156 dds presentó su valor máximo mientras que en los tratamientos restantes disminuye. Así, a la MF, N3 mostró la mayor AMSTO con 721.4 g m⁻² superando al tratamiento testigo en 10% y con 12 y 6.8% a N2 y N4, respectivamente (Cuadro 4 Apéndice). En la misma región Pichardo *et al.* (2007) encontraron también la mayor acumulación de biomasa total al suministrar 132 kg N ha⁻¹. En San Pablo N1, N2 y N3 presentaron su valor más alto a los 156 dds con 653, 878 y 658 g m⁻², mientras que N4 éste valor (867 g m⁻²) se encontró hasta la MF y superó con 405, 162 y 114 g m⁻² a N1, N2 y N3, respectivamente (Cuadro 5 Apéndice). Las diferencias entre tratamientos en Cd. Serdán a los 87 y 127 dds fueron no significativas ya que la AMSTO osciló entre 264 y 270 g m⁻² para la primera fecha y entre 607 y 710 g m⁻² en la segunda. Sin embargo para MF la materia seca se incrementó generando cambios estadísticos (P≤0.05), siendo N2 el tratamiento con el valor más alto con 743 g m⁻², superando en 15, 11 y 35% a N1, N3 y N4, respectivamente (Cuadro 6 Apéndice). Guadarrama *et al.* (2007) sugiere que el N incrementa la actividad fotosintética por una mayor clorofila y N foliar, generando una AMSTO más alta. Sin embargo, dosis altas

pueden causar una disminución del crecimiento y del cultivo como se observó en Cd. Serdán. Andreeva *et al.* (1998) encontraron que aplicaciones elevadas de N en forma de NO_3^- redujeron procesos claves, tales como fotosíntesis, acumulación de almidón y asimilación de N lo que condujo a una importante disminución del desarrollo y productividad. La AMSTO hasta los 127 dds se relaciona con la RI ($R^2=0.87$), mientras que los cambios en la DAFT influyen en la AMSTO a la MF ($R^2=0.91$) (Figura 23).

3.1.5. Acumulación y distribución de materia seca en los diferentes órganos a la madurez fisiológica (MF)

El patrón de distribución de materia seca (MS) refleja el gasto energético invertido por la planta para el aumento de sus órganos. El Cuadro 4 muestra la acumulación de MS total y su distribución en tallo, semilla y pericarpio de los diferentes tratamientos a la MF. La acumulación en promedio de MS total en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán fue similar con 656, 696 y 630 g m^{-2} . De la cual la distribución fue de 52%, 35% y 13% en Montecillo, 49%, 37% y 14% en San Pablo y 45%, 40% y 15% en Cd. Serdán, respectivamente.

En cuanto al efecto del N, en Montecillo y San Pablo el testigo presentó la mayor distribución de MS en el tallo, con el 62 y 55%, respectivamente. En Cd. Serdán correspondió a N4 (51%). Sin embargo, estos tratamientos mostraron la menor acumulación de MS en semilla. Lo que sugiere que el N estimula la una mayor traslocación de MS hacia la semilla. Así, en N3, N4 y N2 se encontró la mayor distribución de MS en semilla con 46, 40 y 43% en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. Una asignación de materia seca similar reportan Guadarrama *et al.* (2007) y Pichardo (2007). La distribución de MS en pericarpio se incrementó por el suministro de N en Montecillo y San Pablo; mientras que en Cd. Serdán disminuyó con dosis altas de N (N3 y N4) (Cuadro 4).

3.1.6. Rendimiento de vaina verde (RVV)

En promedio la producción en fresco evaluado como rendimiento en vaina verde (RVV) presentó diferencias entre localidades. Montecillo y San Pablo mostraron un comportamiento similar con un rendimiento superior a 900 g m^{-2} . Cd. Serdán mostró el RVV mas bajo con 823 g m^{-2} . El rendimiento se asocio principalmente con el número de vainas verdes (NVV) y menor grado con el peso de vaina verde (PVV). Así, el NVV fue de 126, 92 y 81 por m^2 , en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadro 7 Apéndice). Chávez y de Leon (2000) relacionaron el mayor RVV con el incremento en el NVV. En Montecillo el N ocasionó diferencias significativas en la producción de frutos presentando el tratamiento N3 el máximo RVV (1370 g m^{-2}) con un incremento del 149% en relación a N1 que presentó el valor más bajo (551 g m^{-2}). Así, el incremento fue de 13.9 g m^{-2} por kg de N (Figura 24A). El NVV por m^2 fue más alto en todos los tratamientos con N en relación al testigo que presentó 78.6 vainas por m^2 . No se observaron diferencias en el PVV, oscilando entre 7.4 y 7.9 g. En San Pablo (Figura 24B) el RVV máximo se encontró con N4 siendo de 1132 g m^{-2} en comparación con el testigo (773 g m^{-2}) presentó un incremento de 409 g m^{-2} equivalente a 46%. El incremento que se observó fue de 1.9 g m^{-2} por kg de N. El NVV y PVV no presentaron cambios significativos por el N. Para Cd. Serdán N2, N3 y N4 promovieron un incremento del 1, 9 y 16%, respectivamente, con relación al testigo (778 g m^{-2}). El rendimiento más alto fue de 902 g m^{-2} (Figura 24C). NVV y PVV presentó valores entre 77.2 a 88.6 y 10 a 11.4 g, respectivamente.

3.1.7. Componentes de rendimiento en grano seco

3.1.7.1. Número (NV) y peso de vaina (PV)

En Cuadro 5 se observa que el NV (m^2) y PV (g m^{-2}) mostró cambios significativos por efecto del N en San Pablo, Cd. Serdán y Montecillo. El NV m^2 en San Pablo presentó una respuesta lineal al suministro de N, así el máximo NV (178) se mostró con N4 mientras que el testigo (N1) presentó el valor más bajo (63) (Cuadro 5). Un NV más alto con N encontró Escalante y Rodríguez (2002a) en una región con clima similar a San Pablo.

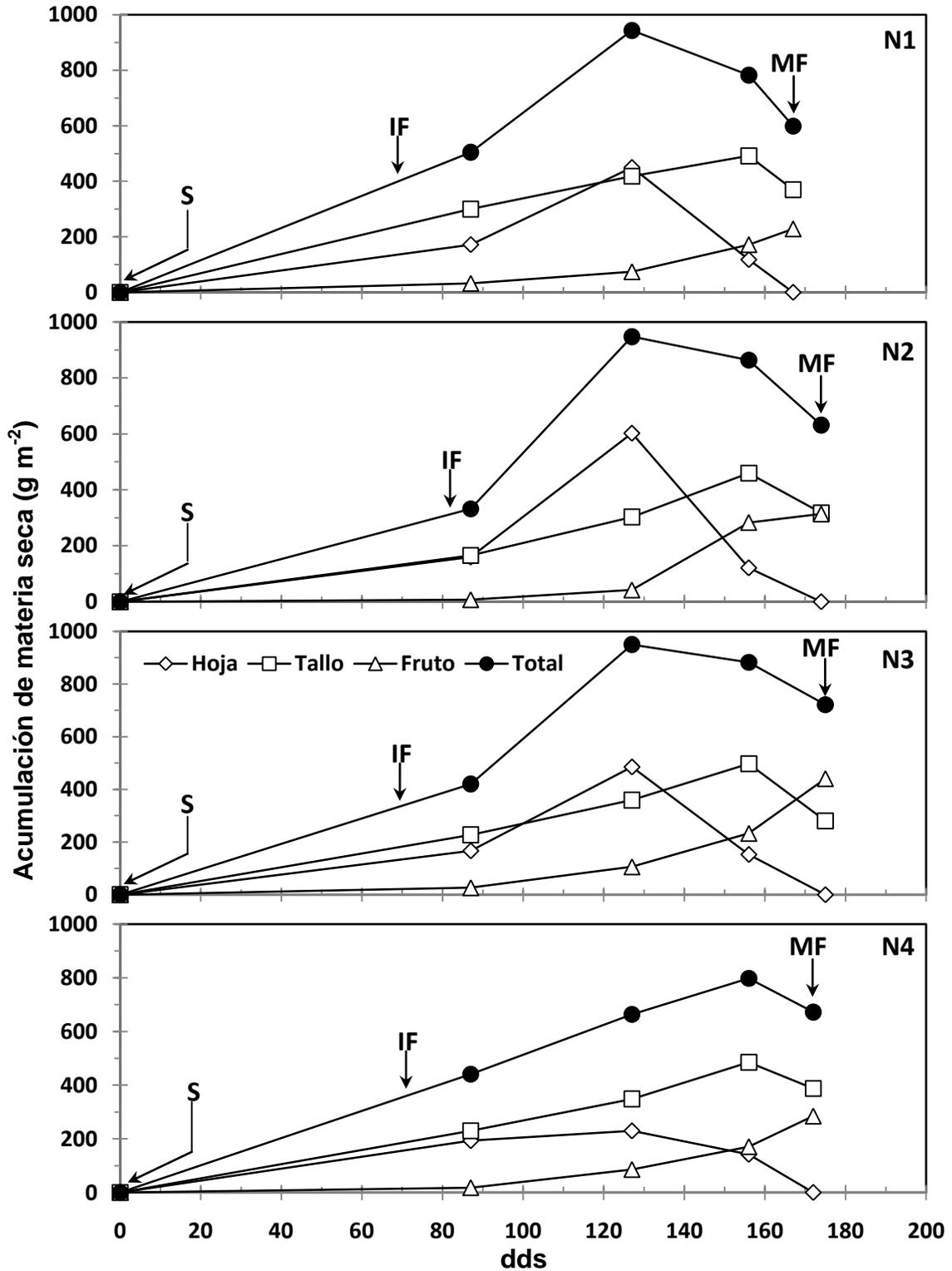


Figura 18. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con suministro de nitrógeno. Montecillo, Méx. Primavera, 2007. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹. dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica.

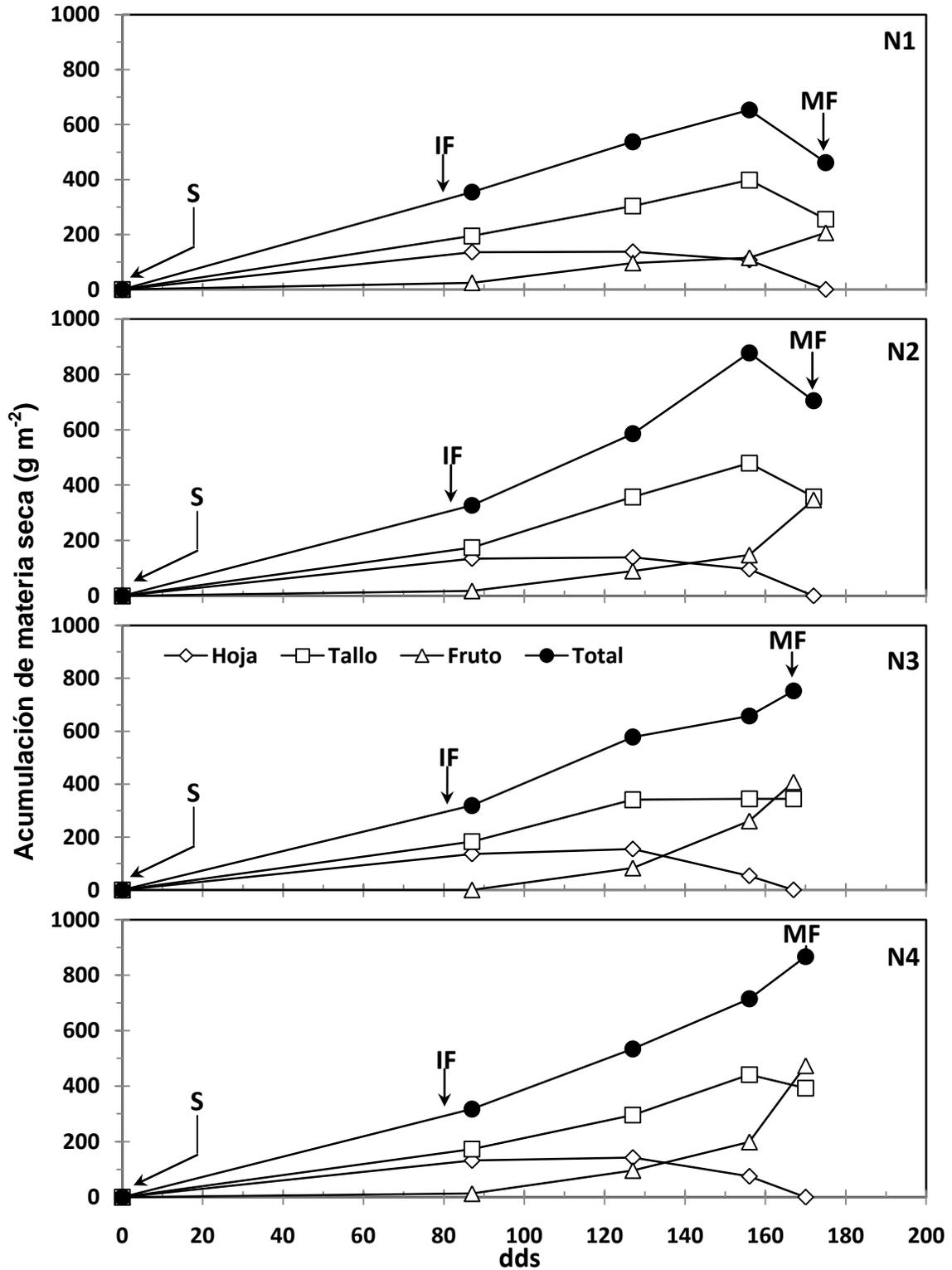


Figura 19. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con suministro de nitrógeno. San Pablo Ixayoc, Méx. Primavera, 2007. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹. dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica.

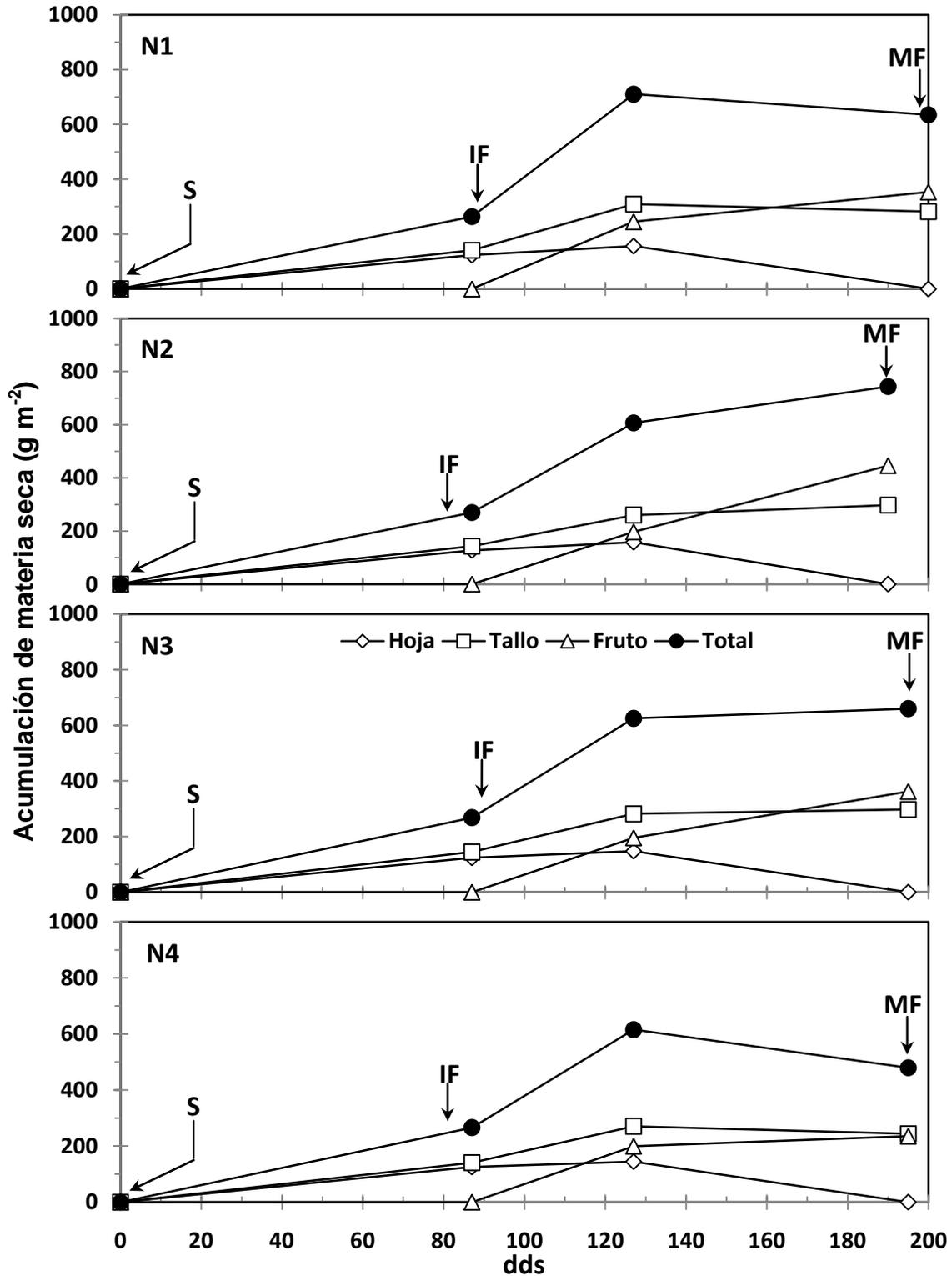


Figura 20. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con suministro de nitrógeno. Cd. Serdán, Puebla. Primavera, 2007. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹. dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica.

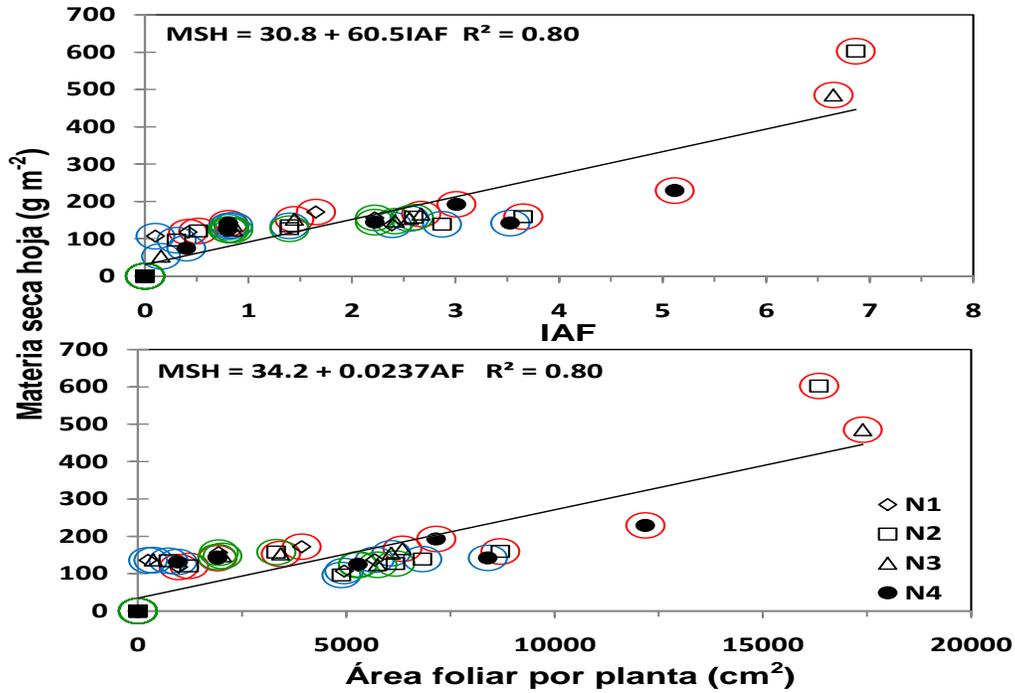


Figura 21. Relación entre la Materia seca hoja (MSH) hasta los 127 dds y el índice de área foliar (IAF) y el área foliar (AF). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

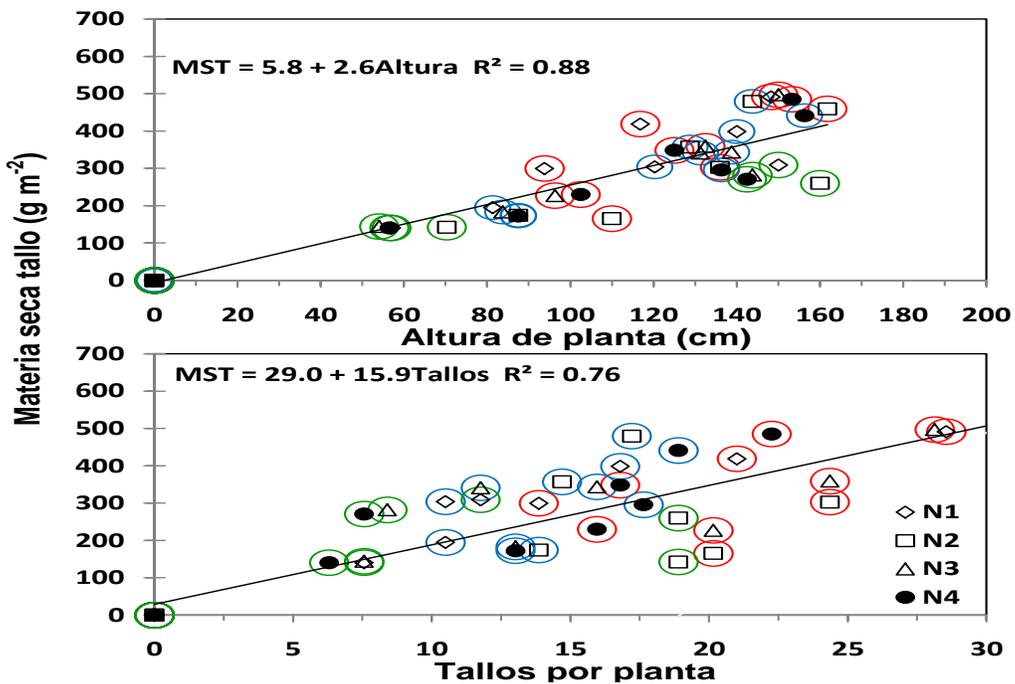


Figura 22. Relación entre la Materia seca tallo (MST) hasta los 127 dds y la altura de planta (AP) y número de tallos. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

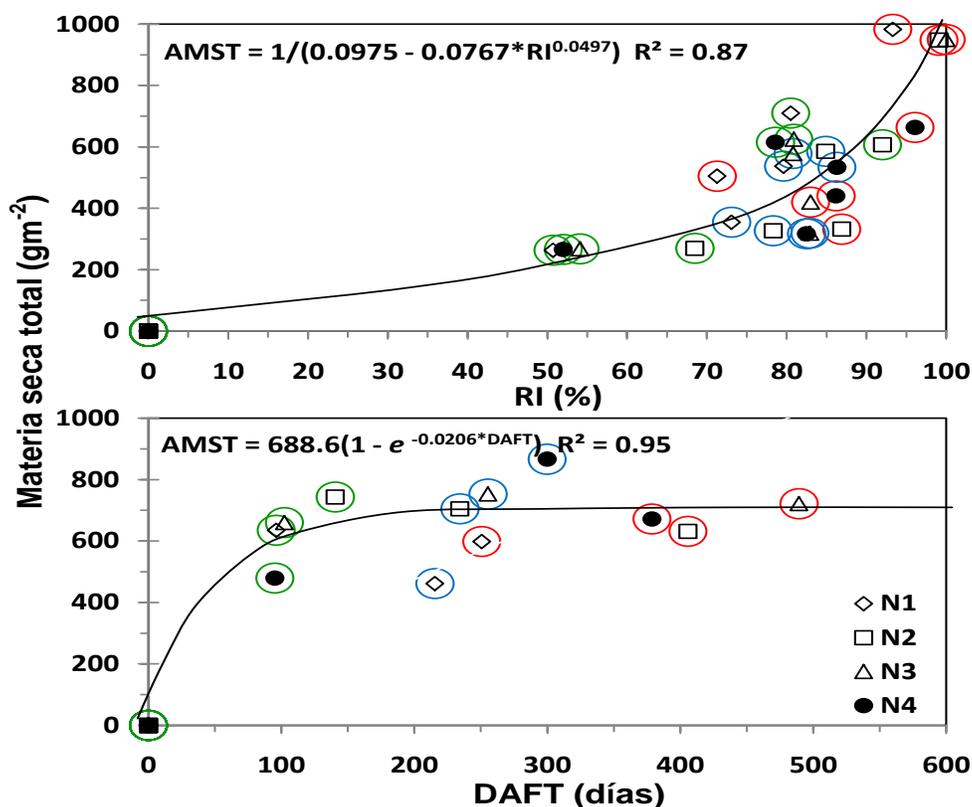


Figura 23. Relación entre la Materia seca total (AMST) y la radiación interceptada (RI) hasta los 127 dds y la AMST y la duración del área foliar total (DAFT). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

Shaaban *et al.* (2006) sugieren que el incremento en el NV se debe a una mayor acumulación de metabolitos en órganos reproductivos provocada por el aumento en la actividad fotosintética. En contraste a San Pablo, en Cd. Serdán solo se encontró una respuesta positiva hasta N2 siendo de 126, disminuyendo con N3 y N4 (109 y 57, respectivamente) (Cuadro 5). Bergareche *et al.* (1988) observaron un comportamiento similar y concluyen que dosis elevadas de N originan según las condiciones del cultivo, problemas de acidificación local y/o toxicidad a nivel del sistema radical. Aunque en Montecillo no existieron diferencias significativas, el mayor NV se encontró con N3 (141). Pichardo *et al.* (2007) en la misma región encontraron le máximo NV de 190 con 132 kg N ha⁻¹. En promedio el NV fue de 111, 121 y 97 para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán (Cuadro 5).

El PV presentó un comportamiento similar al NV. Así, en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán el mejor tratamiento fue N3, N4 y N2, respectivamente, con 441, 474 y 446 g m⁻². Superando al testigo en 93%, 96 y 27% (Cuadro 5). El PSV en función del NV se puede representar de manera apropiada mediante un ajuste de la ecuación lineal (Figura 25A).

Cuadro 4. Acumulación y distribución de materia seca en los diferentes órganos de la planta a la madurez fisiológica en función del nitrógeno. Primavera 2007.

Tratamiento	Materia seca (g m ⁻²)					Distribución de materia seca (%)				
	Hoja	Tallo	Semilla	Pericarpio	Total	Hoja	Tallo	Semilla	Pericarpio	
Montecillo										
N1	0.0	369.7	169.6	59.1	598.5	0.0	61.8	28.3	9.9	
N2	0.0	317.9	224.7	89.0	631.5	0.0	50.3	35.6	14.1	
N3	0.0	280.3	329.0	112.2	721.4	0.0	38.8	45.6	15.6	
N4	0.0	387.5	203.2	81.4	672.1	0.0	57.7	30.2	12.1	
n										
San Pablo										
N1	0.0	255.4	146.4	60.1	461.8	0.0	55.3	31.7	13.0	
N2	0.0	357.7	255.8	91.4	704.8	0.0	50.7	36.3	13.0	
N3	0.0	344.5	288.4	119.9	752.8	0.0	45.8	38.3	15.9	
N4	0.0	392.8	345.9	127.9	866.6	0.0	45.3	39.9	14.8	
Cd. Serdán										
N1	0.0	282.0	248.5	104.8	635.3	0.0	44.4	39.1	16.5	
N2	0.0	297.4	318.9	127.1	743.3	0.0	40.0	42.9	17.1	
N3	0.0	297.6	266.3	96.1	660.0	0.0	45.1	40.3	14.6	
N4	0.0	243.9	170.8	64.9	479.6	0.0	50.9	35.6	13.5	

N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

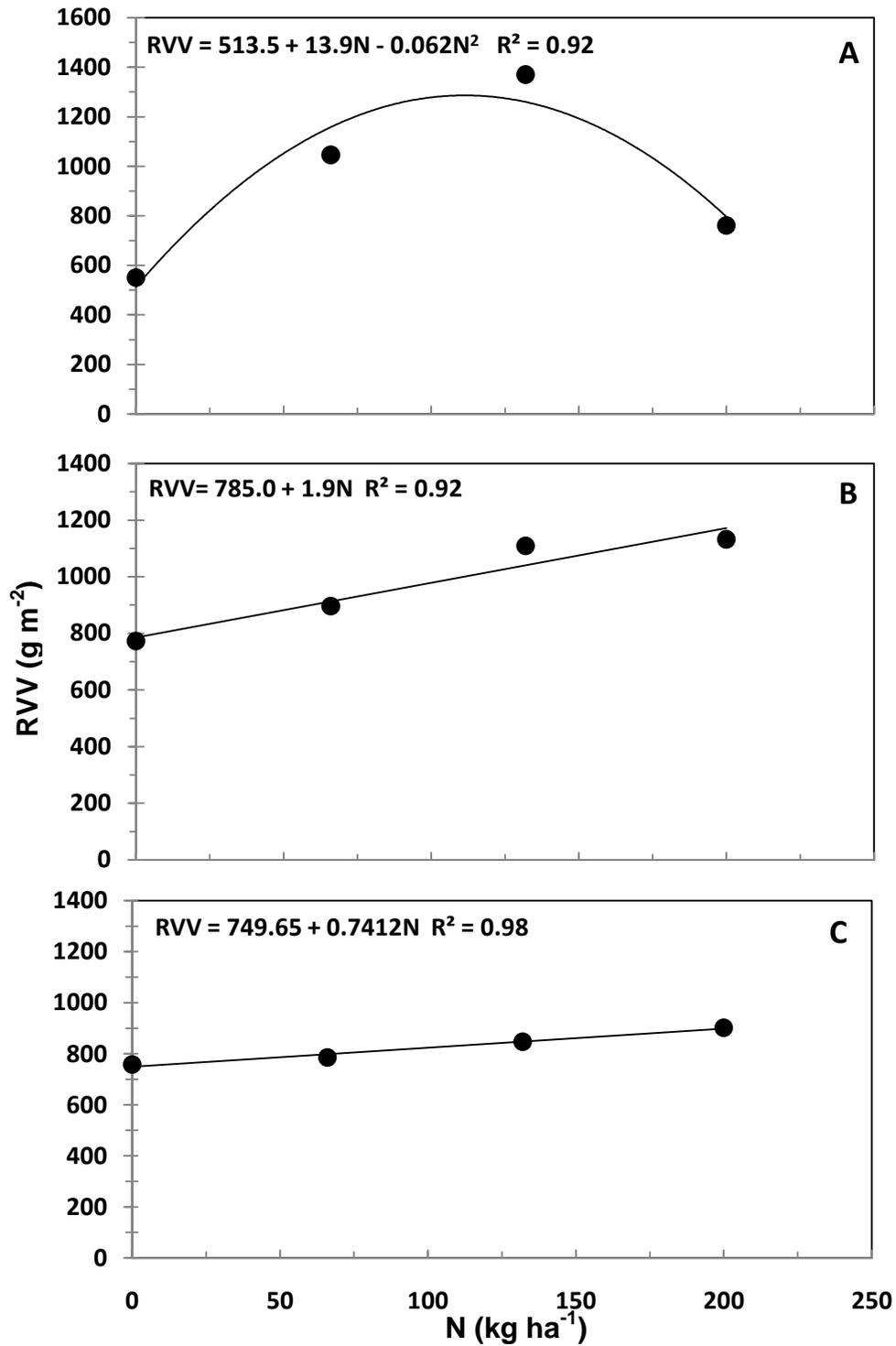


Figura 24. Rendimiento de vaina verde (RVV) en haba con suministro de nitrógeno (N) sembrada en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007.

3.1.7.2. Numero de semillas (NS) y tasa de crecimiento de semilla (TCS)

El mayor NS (m^2) se encontró en San Pablo. Montecillo y Cd. Serdán presentaron un comportamiento similar. Así, NS fue entre 194–322, 172–294, y 107–294, respectivamente. El NS más alto que mostró San Pablo se debe al incremento en la TCS siendo en promedio de $3.4 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. Montecillo y Cd. Serdán registraron una TCS de 2.8 y $2.5 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. En la Figura 25B se observa la relación entre el NS y la TCS ($R^2 = 0.93$).

El NS presentó diferencias significativas por los tratamientos evaluados, en las tres localidades (Cuadro 5). En Montecillo N3 presentó el mayor NS (294), mientras que el NS más bajo (172) se encontró con N4. Con una TCS de 3.9 y $2.5 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, respectivamente. En San Pablo, N2 y N3 registraron el NS más alto (322 y 307, respectivamente) superando al tratamiento testigo en 66 y 58% que mostró el menor NS con 194, debido a una reducida TCS ($1.7 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), en comparación con los tratamiento con N ($3.9 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, en promedio). El NS en Cd. Serdán, al igual que San Pablo fue mayor con N2 y N3 con 294 y 270, respectivamente, y una TCS de 3.2 y $2.7 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. N4 presentó el menor NS con 107 y la más baja TCS ($1.6 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) (Cuadro 5). Así, el mayor NS y TCS en las tratamientos con N se debió probablemente al uso más eficiente de los recursos como radiación, agua y nitrógeno, tal como lo menciona Pichardo *et al.* (2007). Sin embargo dosis elevadas de N afectan el NS (Bergareche *et al.*, 1988).

3.1.7.3. Peso de cincuenta semillas (PCS) y tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS)

En el Cuadro 5 se observa que el suministro de N afectó significativamente el PCS en San Pablo y Cd. Serdán; mientras que en Montecillo no se presentaron diferencias estadísticas. No obstante, en las tres localidades el mayor PCS se encontró con N4 siendo de 60, 58 y 87 g para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadro 5). Así, el suministro de N mejoró el desarrollo de la semilla, como se observa en la TCIS donde N4 presentó los valores más altos con 14.8, 14.6 y 16.9 $\text{mg semilla}^{-1} \text{ día}^{-1}$. El testigo presentó una TCIS de 9.6, 8.6 y 10.3 $\text{mg semilla}^{-1} \text{ día}^{-1}$ (Figura 25C).

Kantolic *et al.* (1995) concluye que el peso final del grano puede describirse como una función de su tasa de crecimiento y la duración del periodo de llenado de grano. Tasas de crecimiento de semilla altas están asociadas al mayor número de células que se inician en los cotiledones durante las etapas tempranas de desarrollo de las semillas. Resultados similares encontraron Escalante y Rodriguez (2002b), Pichardo *et al.* (2007), Guadarrama *et al.* (2007) y Liben *et al.* (2001). En la Figura 25D podemos observar que un mayor PCS afecta negativamente al NS ($R^2=0.73$). Agung y McDonald (1998) encontraron en dos localidades un alto grado de compensación entre el número de semillas y el peso de semilla.

3.1.7.4. Número de semillas por vaina (NSV)

El número de semillas por vaina se afectó por las dosis de N en las tres localidades. En Montecillo la mayor cantidad de semillas por vaina con 2.3 se encontró en el tratamiento testigo. El NSV más bajo (1.65) se registró con N4. Un comportamiento similar se encontró en Cd. Serdán con este tratamiento, ya que produjo 1.8 semillas por vaina, valor inferior a los tratamientos restantes que en promedio presentó 2.4 semillas vaina⁻¹. En contraste en San Pablo N4 mostró el NSV más alto con 2.3, superando en 0.5 semillas por vaina al tratamiento testigo que presentó un número más bajo (Cuadro 5).

3.1.8. Índices de translocación en grano seco

3.1.8.1. Índice reproductivo (IR), intensidad de partición (IP) e índice de cosecha (IC)

El índice reproductivo (IR) generalmente presenta valores bajos cuando no se aplica N o con dosis altas de N (N4). Montecillo y Cd. Serdán presentaron diferencias significativas, siendo N3 y N2 los de mayor IR con 0.77 y 0.73 semillas g⁻¹, respectivamente. En San Pablo, a pesar de mostrar los valores más altos (0.68 semillas g⁻¹, en promedio) no se observaron diferencias entre tratamientos, oscilando entre 0.59 y 0.80 semillas g⁻¹ (Cuadro 5).

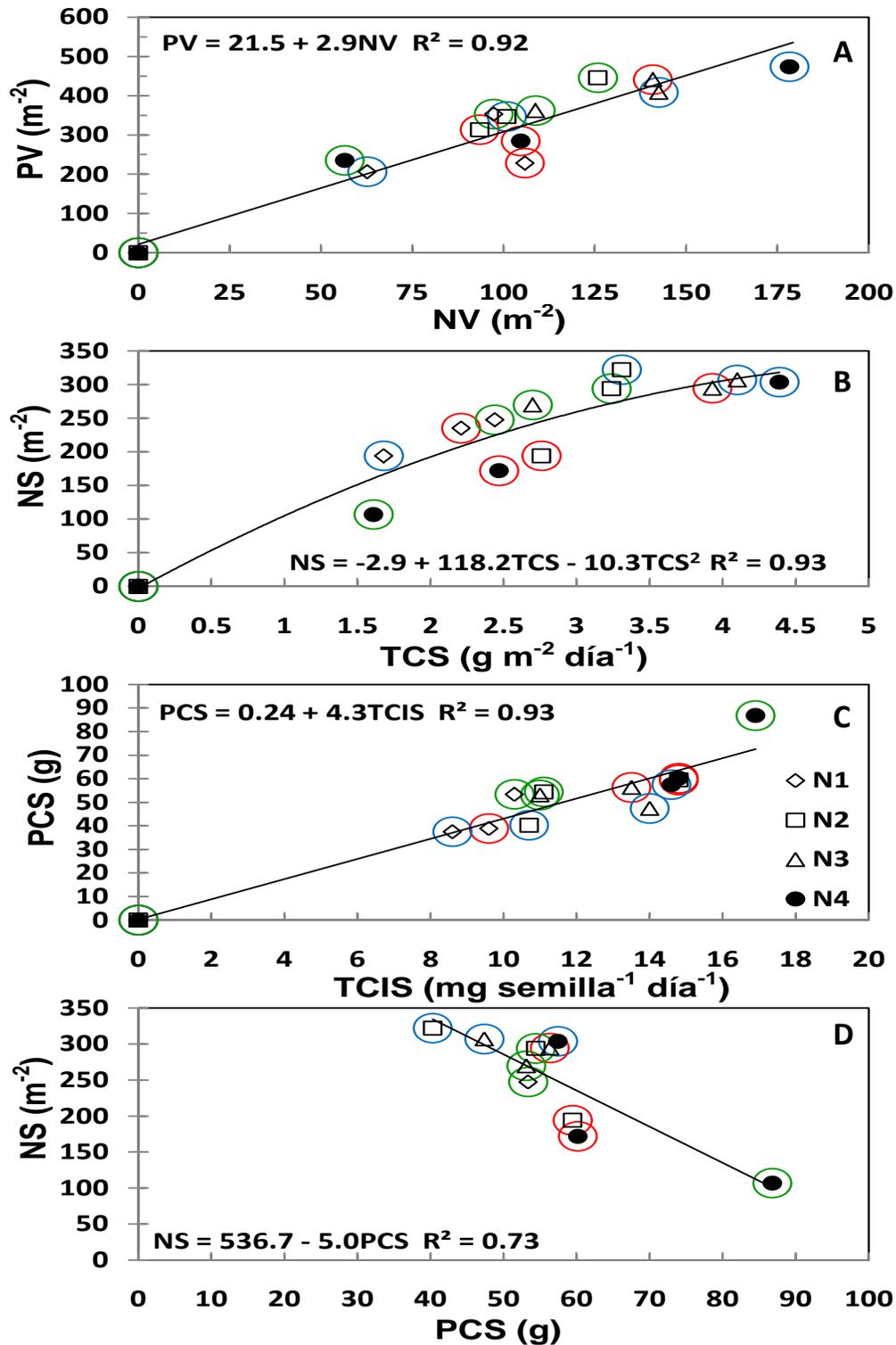


Figura 25. Relación entre: número de vainas (NV) y peso de vaina (PV) (A), peso de cincuenta semillas (PCS) y número de semillas (NS) (B), tasa de crecimiento de semilla (TCS) y NS (C) y tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS) y PCS (D). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

Se observa que el N no afecta el IP en Montecillo y Cd. Serdán (diferencias no significativas). Sin embargo, con N3 y N2 se encontraron los valores más altos 0.89 en Montecillo y 0.85 en San Pablo, respectivamente. En San Pablo al aplicar N se encontró el IP más alto (0.92) diferenciándose estadísticamente de los tratamientos restantes. En promedio el valor del IP fue más alto en San Pablo (0.81).

El IC presentó cambios significativos solo en Montecillo, siendo N1 el más bajo con 28%, mientras que N2, N3 y N4 fue 36, 45 y 31%, respectivamente. En San Pablo y Cd. Serdán N1, mostró el menor IC, sin embargo no se presentaron diferencias con los tratamientos restantes. (Cuadro 5).

3.1.9. Rendimiento de grano seco (RGS)

El RGS presentó diferencias significativas por acción del N en las tres localidades. En Montecillo el rendimiento máximo (328.9 g m^{-2}) se mostró con N3 superando en 93, 46 y 62% a N1, N2 y N4, respectivamente (Figura 26A). El mayor rendimiento registrado en N3 se puede atribuir al incremento en AF, IAF, DAF y RI (Cuadro 1 Apéndice). La adecuada aplicación de N permite un rápido crecimiento foliar por interceptar la mayor radiación y producir más vainas. Lo anterior se reflejó en la adecuada repartición de la materia seca hacia la semilla, como se observa en el mayor IC que presentó N3 en comparación con los tratamientos restantes (Cuadro 5). Así mismo, esas diferencias fueron significativas por el mayor NS (Cuadro 5) y AMSTO (Cuadro 4). Pichardo *et al.* (2007) también encontró el mayor rendimiento y componentes con 132 kg N ha^{-1} en dos cultivares de haba. El modelo polinomial cuadrático muestra que el RGS se incrementa en 2.4 g m^{-2} por cada kg de N aplicado (Figura 26A).

Al incrementar el suministro de N en San Pablo el RGS aumenta linealmente, en 0.95 g m^{-2} por cada kg de N. Así, el rendimiento más alto con 346 g m^{-2} se mostró con N4. El testigo (N1) solo alcanzó 147 g m^{-2} (Figura 26B) Escalante y Rodríguez (2002a) encontraron un rendimiento de 170 g m^{-2} al fertilizar con 100 kg N ha^{-1} . El mayor rendimiento de N4 posiblemente se debió a la mayor cobertura y duración del dosel vegetal, durante el ciclo del cultivo; tal como demuestran el AF, IAF y DAF (Cuadro 2

Apéndice). Ese incremento también se asocia con el mayor PCS, NSV, AMST e IC (Cuadro 5).

En Cd. Serdán se observó una respuesta positiva hasta N2, incluso con N4 se afectó considerablemente el RGS, posiblemente a la interacción del N con otros elementos o bien a la baja eficiencia en la utilización de este elemento por el cultivo. Tang *et al.* (1999) reportan en distintas leguminosas incluyendo haba una menor producción al aumentar la fertilización nitrogenada debido a que disminuyó la fijación de N por un menor número y peso de nódulos. El mayor rendimiento (319 g m^{-2}) con N2 superó en 148 g m^{-2} a N4 que mostró el RGS más bajo con 171 g m^{-2} . Saldaña *et al.* (2000) reportan un rendimiento de 291 g m^{-2} con 92 kg N ha^{-1} en el estado del Puebla. Los componentes que más influyeron en el rendimiento fueron el NS, IC (Cuadro 5) y AMSTO (Cuadro 4). La línea de tendencia muestra un incremento de 1.42 g m^{-2} por aumento en N (Figura 26C). En promedio se observa el mayor RGS en San Pablo con 259 g m^{-2} , seguido de Cd. Serdán con 251 g m^{-2} . Montecillo presentó el RGS más bajo con 231 g m^{-2} (línea punteada de la Figura 26A, B y C).

En la Figura 27A, B y C que presenta el RGS en función del IAF máximo, DAFT y RI máxima, se observa la mayor relación encontrada con la DAFT ($R^2=0.88$) y RI ($R^2=0.89$), lo anterior coincide con Minguez *et al.* (1993) y De Costa *et al.* (1997) quienes mencionan que el RGS se relaciona con el IAF máximo, pero aun más con la DAF, siendo ésta última una medida indirecta de la RI por el cultivo. Montecillo presentó un IAF máximo mayor que San Pablo, sin embargo, el RGS en promedio fue más alto en San Pablo. Minguez *et al.* (1993), Gardner *et al.* (1985) obtuvieron un IAF crítico en cercano a 5, concluyendo que valores superiores a éste disminuyen la acumulación de materia seca y el rendimiento de grano. Así mismo, existió una relación lineal y positiva entre el RGS con el NS ($R^2=0.95$), PCS ($R^2=0.92$), NSV ($R^2=0.92$) y MSTO ($R^2=0.97$) (Figura 28A, B, C y D)

La TCS, IR, IP, IC presentaron una relación alta con el RGS ($R^2=0.97$, 0.91 y 0.96 , 0.95 , respectivamente), mientras que la TCIS se ajusta a un modelo polinomial

cuadrático ($R^2=0.90$), es decir, entre más corto es el período de llenado de grano, el rendimiento disminuye (Figura 29 A, B, C, D y E).

3.1.10. Máxima eficiencia biológica (MEB) y máxima eficiencia económica (MEE)

La dosis y el RGS para la máxima eficiencia biológica (MEB) y máxima eficiencia económica (MEE) se presentan en el Cuadro 6, en donde se observa que en ausencia de fertilización nitrogenada el mayor RGS se obtiene en Cd. Serdán con 253 g m^{-2} (valor del intercepto o "a" de la ecuación), superando en 38 y 35% a Montecillo (156 g m^{-2}) y San Pablo (165 g m^{-2}), respectivamente (Cuadro 6). Pichardo *et al.* (2007) y Guadarrama *et al.* (2007) encontraron en Montecillo un rendimiento sin la aplicación de N de 126 y 88 g m^{-2} , respectivamente. Mientras que en San Pablo en haba cv. Purépecha el rendimiento fue 91 g m^{-2} (Navarro *et al.*, 2007).

En Montecillo la MEB fue de 120 kg N ha^{-1} que representa una productividad de 300 g m^{-2} , diferenciándose de la MEE donde la dosis fue de 94 N kg ha^{-1} y una productividad de 293 g m^{-2} relacionando el rendimiento de la MEE con el testigo presentó una respuesta de 1.5 g m^{-2} por kg de N ha^{-1} (Cuadro 6). Estos resultados difieren de los encontrados por Pichardo *et al.* (2007) quienes encontraron el mayor ingreso neto con 132 kg N ha^{-1} .

En San Pablo la respuesta al N fue más acentuada, ya que la MEB y MEE se encontró con la mayor dosis de N aplicado (N4) alcanzando un rendimiento de 355 g m^{-2} . Hubo una respuesta de 0.95 g m^{-2} por kg de N ha^{-1} , existiendo una diferencia de 0.55 kg m^{-2} por kg de N ha^{-1} en comparación con Montecillo (Cuadro 6).

Cd. Serdán presentó una MEB y MEE inferiores a Montecillo y San Pablo; sin embargo los rendimientos fueron similares. Así, la MEB y MEE fueron de 79 y 55 kg ha^{-1} , respectivamente. Con un rendimiento de 309 y 304 g m^{-2} y un incremento por kg de N ha^{-1} de 0.93 kg m^{-2} (Cuadro 6). Tornero *et al.* (1993) recomiendan una dosis óptima económica de 40 kg N ha^{-1} .

Cuadro 5. Componentes de rendimiento e índices de translocación en haba con suministro de nitrógeno. Primavera 2007.

Tratamiento	NV (m ²)	PV (g m ⁻²)	NS (m ²)	PCS (g)	NSV	TCS (g m ⁻² día ⁻¹)	TCIS (mg semilla ⁻¹ día ⁻¹)	IR (semillas g ⁻¹)	IP	IC (%)
Montecillo										
N1	106 a ^z	229 b	235 ab	38.9 a	2.30 a	2.21 a	9.61 a	0.54 ab	0.61 a	28.3 b
N2	93 a	314 ab	194 ab	59.5 a	2.10 ab	2.76 a	14.83 a	0.53 ab	0.78 a	35.5 ab
N3	141 a	441 a	294 a	56.3 a	2.25 ab	3.93 a	13.55 a	0.77 a	0.89 a	44.8 a
N4	105 a	285 ab	172 b	60.2 a	1.65 b	2.47 a	14.78 a	0.39 b	0.65 a	30.8 b
Promedio	111	317	224	53.7	2.08	2.84	13.19	0.56	0.73	34.8
DSH_{0.05}	74.5	188.1	115.1	25.5	0.63	1.79	6.8	0.36	0.29	9.6
San Pablo										
N1	63 b	207 b	194 b	37.5 b	1.80 b	1.68 b	8.59 b	0.63 a	0.63 b	31.2 a
N2	101 ab	347 ab	322 a	40.3 b	2.15 ab	3.31 a	10.70 ab	0.80 a	0.83 ab	37.2 a
N3	143 a	408 a	307 a	47.4 ab	2.00 ab	4.10 a	13.96 ab	0.70 a	0.92 a	38.7 a
N4	178 a	474 a	304 ab	57.5 a	2.30 a	4.39 a	14.59 a	0.58 a	0.86 a	40.0 a
Promedio	121	359	282	45.6	2.06	3.37	11.96	0.68	0.81	36.8
DSH_{0.05}	78.3	147.7	110.3	14.7	0.47	1.43	5.9	0.45	0.21	10.4
Cd. Serdán										
N1	97 ab	353 ab	247 a	53.4 b	2.47 a	2.44 ab	10.33 b	0.62 ab	0.74 a	38.0 a
N2	126 a	446 a	294 a	54.4 b	2.40 a	3.24 a	11.06 b	0.73 a	0.85 a	43.8 a
N3	109 a	362 ab	270 a	53.1 b	2.47 a	2.70 ab	10.99 b	0.67 a	0.80 a	39.7 a
N4	57 b	236 b	107 b	86.8 a	1.80 b	1.61 b	16.91 a	0.34 b	0.65 a	34.9 a
Promedio	97	349	229	61.9	2.28	2.50	12.32	0.59	0.76	39.1
DSH_{0.05}	50.4	175.9	111.3	11.6	0.34	1.09	3.7	0.28	0.21	9.7

NV: número de vainas, PV: peso de vainas, NS: número de semillas, PCS: peso de cincuenta semillas, NSV: número de semillas por vaina, TCS: tasa de crecimiento de semilla, TCIS: tasa de crecimiento individual de semilla, IR: índice reproductivo, IP: índice de partición, IC: índice de cosecha y RGS: rendimiento de grano seco. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹. ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %.

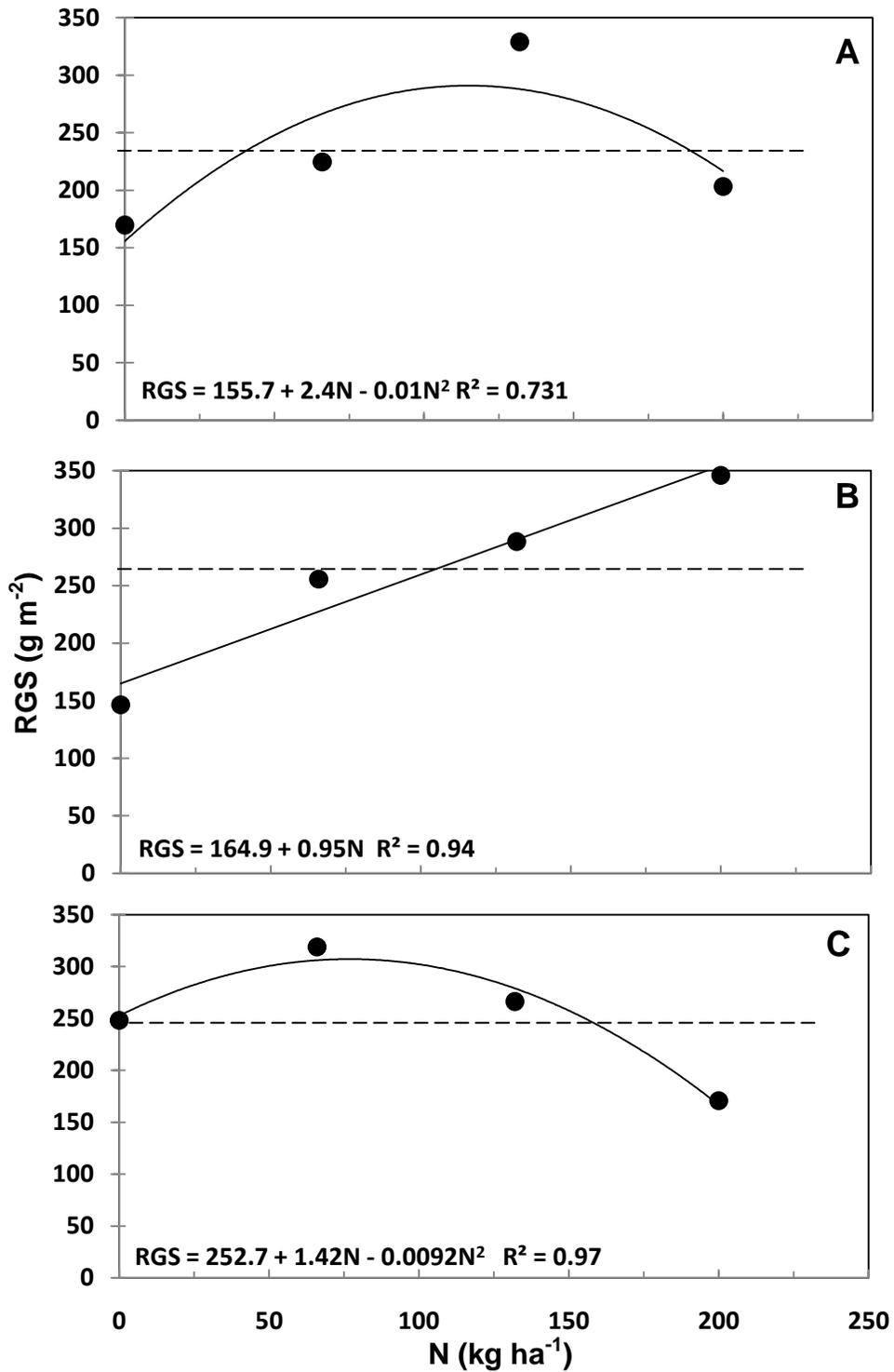


Figura 26. Rendimiento de grano seco (RGS) en haba con suministro de nitrógeno (N) sembrada en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007.

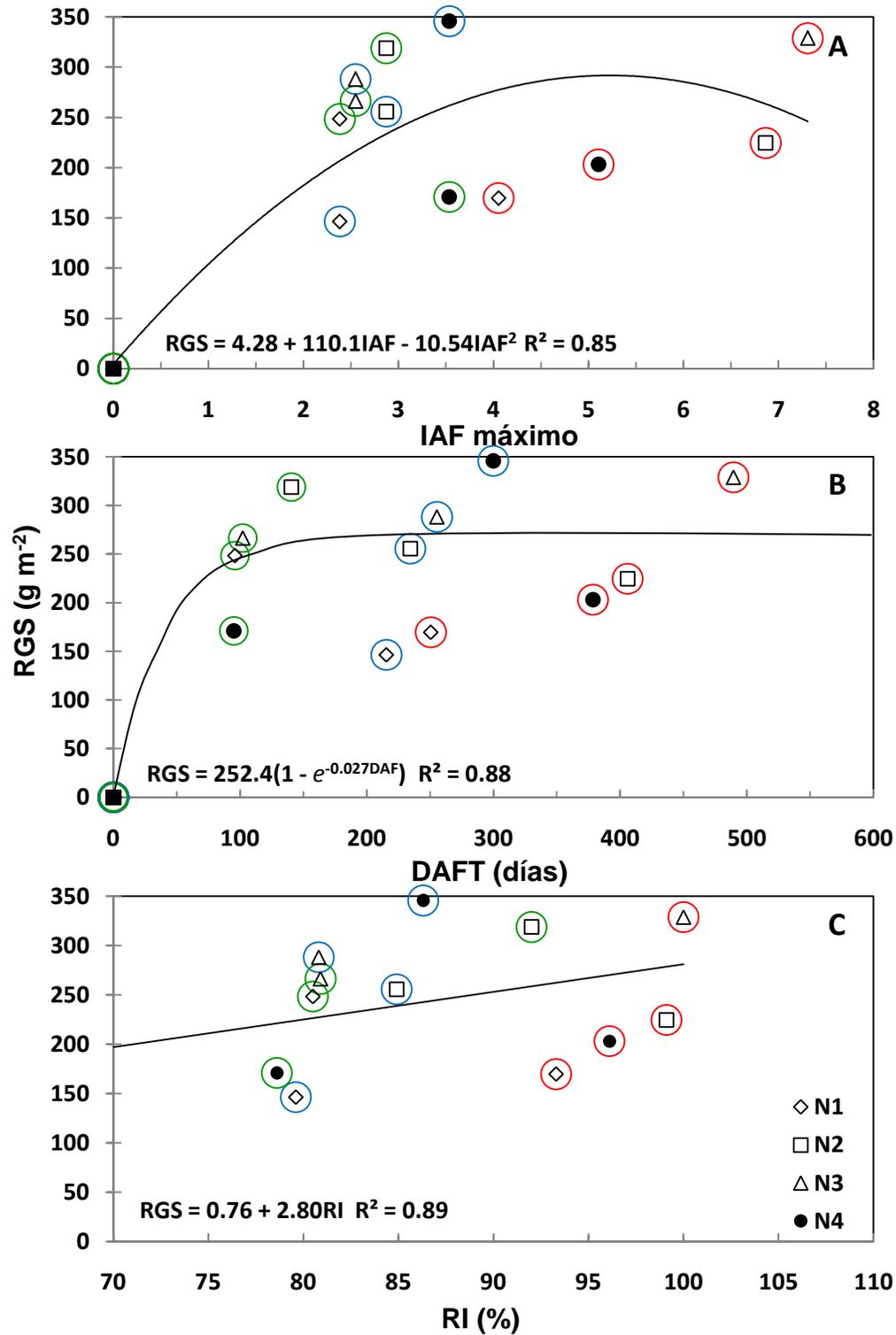


Figura 27. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: índice de área foliar (IAF) máximo (A), duración del área foliar total (DAFT) (B) y máxima radiación interceptada (RI). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

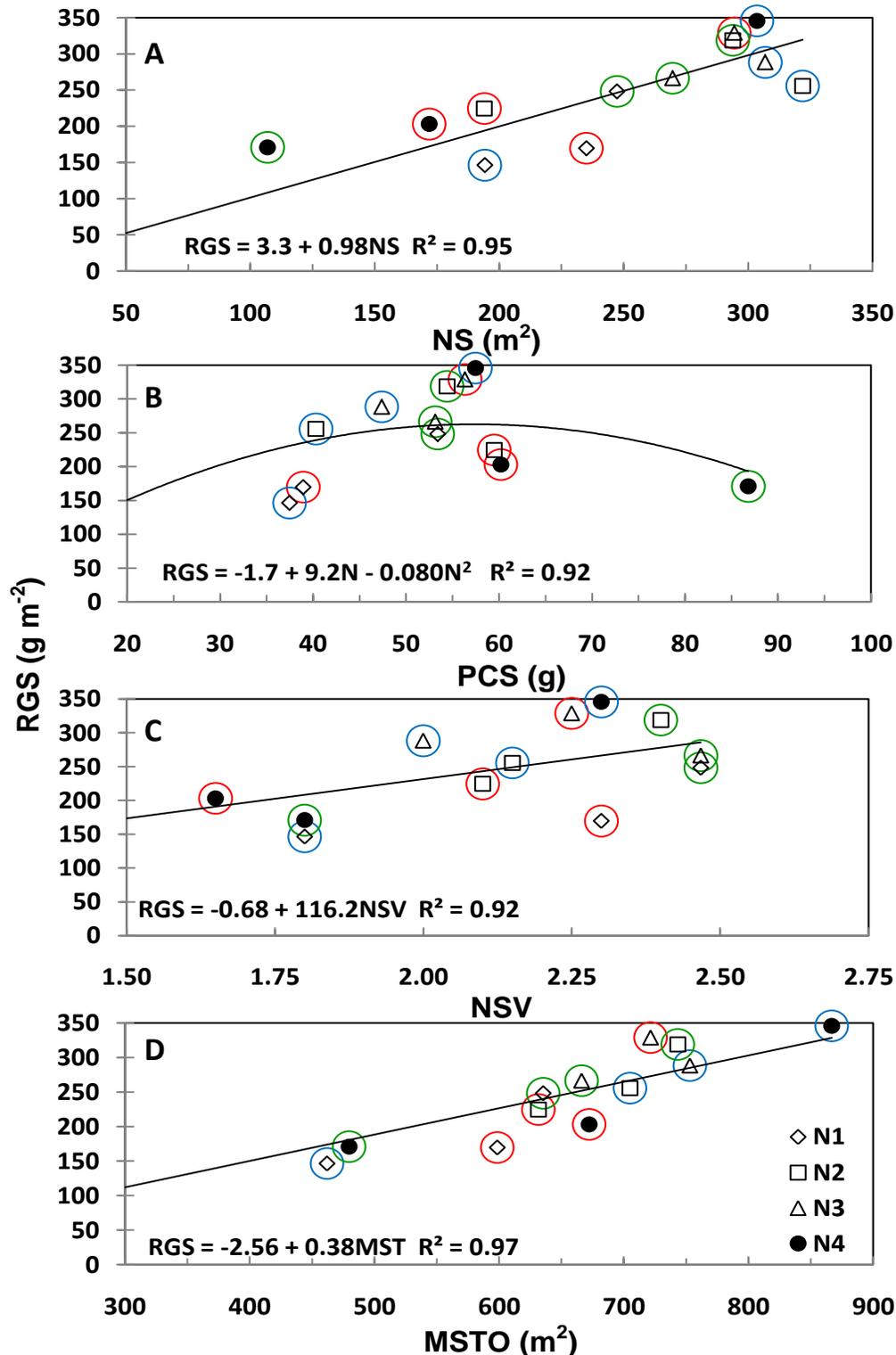


Figura 28. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: número de semillas (NS) (A), peso de cincuenta semillas (PCS) (B), número de semillas por vaina (NSV) (C) y materia seca total (MSTO) (D). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

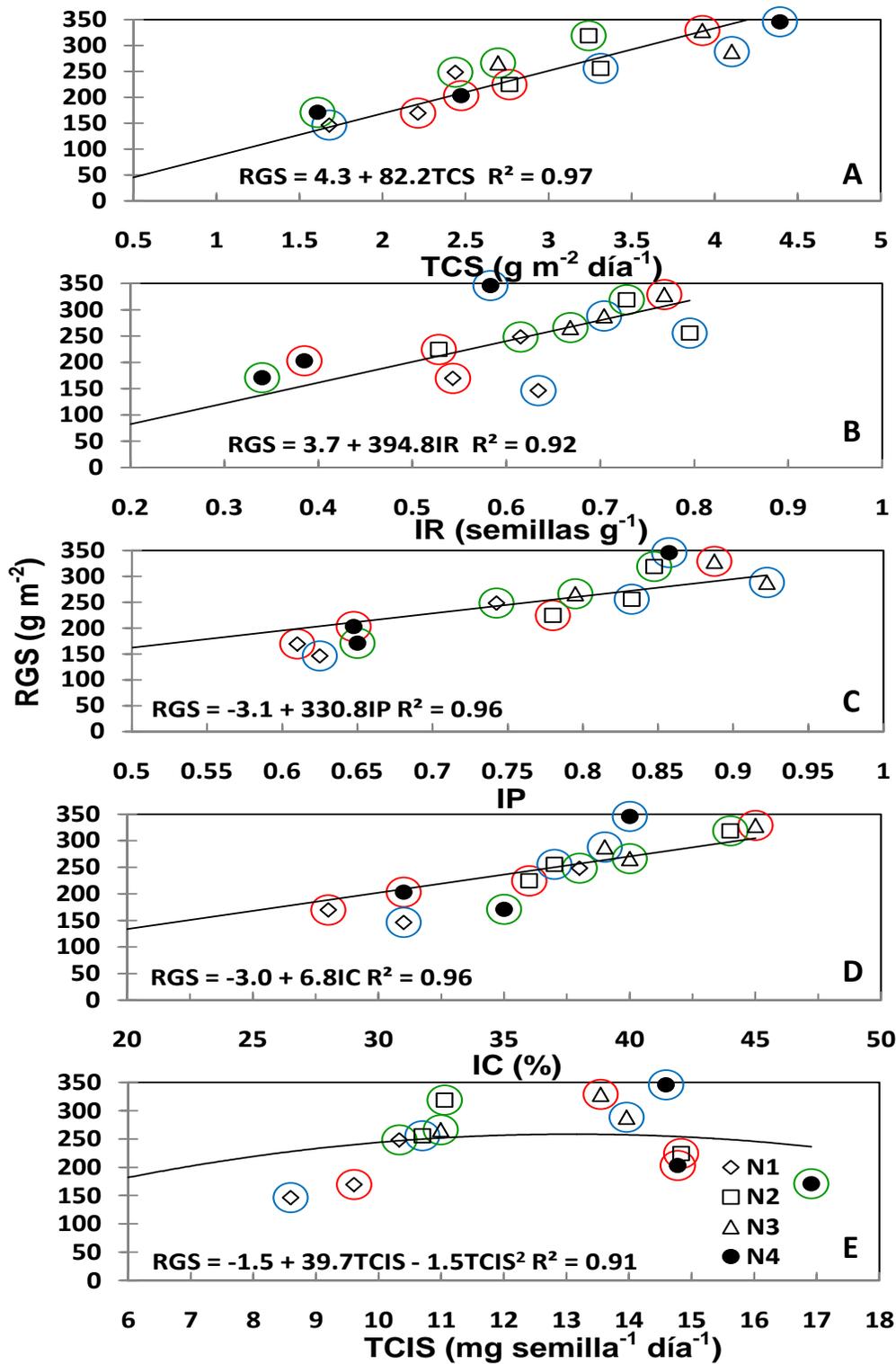


Figura 29. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: tasa de crecimiento de semilla (TCS) (A), índice reproductivo (IR) (B), índice de partición (IP) (C), índice de cosecha (IC) (D) y tasa de crecimiento individual de semilla (E). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹.

Cuadro 6. Ecuaciones de productividad, coeficientes de determinación, máxima eficiencia biológica (MEB) y máxima eficiencia económica (MEE) en haba con suministro de nitrógeno (N). Primavera 2007.

	Montecillo	San Pablo	Cd. Serdán
Ecuación de productividad	$RGS = 155.7 + 2.40N - 0.010N^2$	$RGS = 164.9 + 0.95N$	$RGS = 252.7 + 1.42N - 0.009N^2$
Coeficiente de determinación	$R^2 = 0.73$	$R^2 = 0.94$	$R^2 = 0.97$
Dosis MEB	120 kg N ha ⁻¹	200 kg N ha ⁻¹	79 kg N ha ⁻¹
Rendimiento MEB	300 g m ⁻²	355 g m ⁻²	309 g m ⁻²
Dosis MEE	94 kg N ha ⁻¹	200 kg N ha ⁻¹	55 Kg N ha ⁻¹
Rendimiento MEE	293 g m ⁻²	355 g m ⁻²	304 g m ⁻²
[†] Respuesta real granos kg N ⁻¹	1.5 g m ⁻² kg ⁻¹	0.95 g m ⁻² kg ⁻¹	0.93 g m ⁻² kg ⁻¹

[†]Obtenido de respuesta de granos kg N⁻¹ = (Rendimiento MEE – Rendimiento testigo)/Dosis MEE

3.2. Efecto del fósforo (P)

3.2.1. Variables morfológicas

3.2.1.1. Altura de planta (AP)

La altura de planta (AP) se incrementó a través del tiempo en las tres localidades y principalmente con el suministro de P en Montecillo y San Pablo (Figura 30A, B y C). El-Habbasha *et al.* (2007) reportan la mayor AP de los 60 a 90 dds particularmente con suministro de P. En Cd. Serdán, el P no ocasionó cambios significativos. La mayor longitud de la planta se presentó a los 156 dds. A los 127 dds, Cd. Serdán presentó la mayor altura con 155 superando con 18 y 23 cm a Montecillo y San Pablo. Siendo éstas, dos regiones a los 156 dds, cuando expresaron la mayor altura en promedio con 158 y 144 cm, respectivamente (Cuadro 8, 9 y 10 Apéndice). Sánchez (1996); Morales *et al.* (2002) encontraron una AP entre 100 y 130 cm en regiones del oriente del Estado de México.

En Montecillo se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para los tratamientos evaluados solo a los 127 dds, siendo P4 donde se mostró la mayor AP con 140 (Cuadro 8 Apéndice). Sin embargo, éste tratamiento durante el período 127–156 dds, presentó una tasa de incremento de 0.56 cm día^{-1} , menor a la de P3 (0.88 cm día^{-1}) que presentó la mayor AP a los 156 dds con 163 cm. La AP más baja a los 87, 127 y 156 dds se encontró en el testigo. En San Pablo, aunque no existieron diferencias significativas el mismo tratamiento mostró la AP más baja; mientras que a los 127 y 156 dds la máxima AP se observó con P4 (Cuadro 9 Apéndice). En Cd. Serdán, solo se encontró una respuesta positiva con dosis bajas de P (P2), ya que dosis iguales o superiores a P3 afectaron la elongación del tallo principal (Cuadro 10 Apéndice). El incremento en la AP por adición de P, puede asociarse al incremento de la actividad meristimática que se presenta en el tejido vegetal debido a la mayor síntesis de carbohidratos (Ahmed y El-Abagy, 2007). Sin embargo dosis elevadas de P pueden provocar toxicidad en la planta (Bolland *et al.*, 1999)

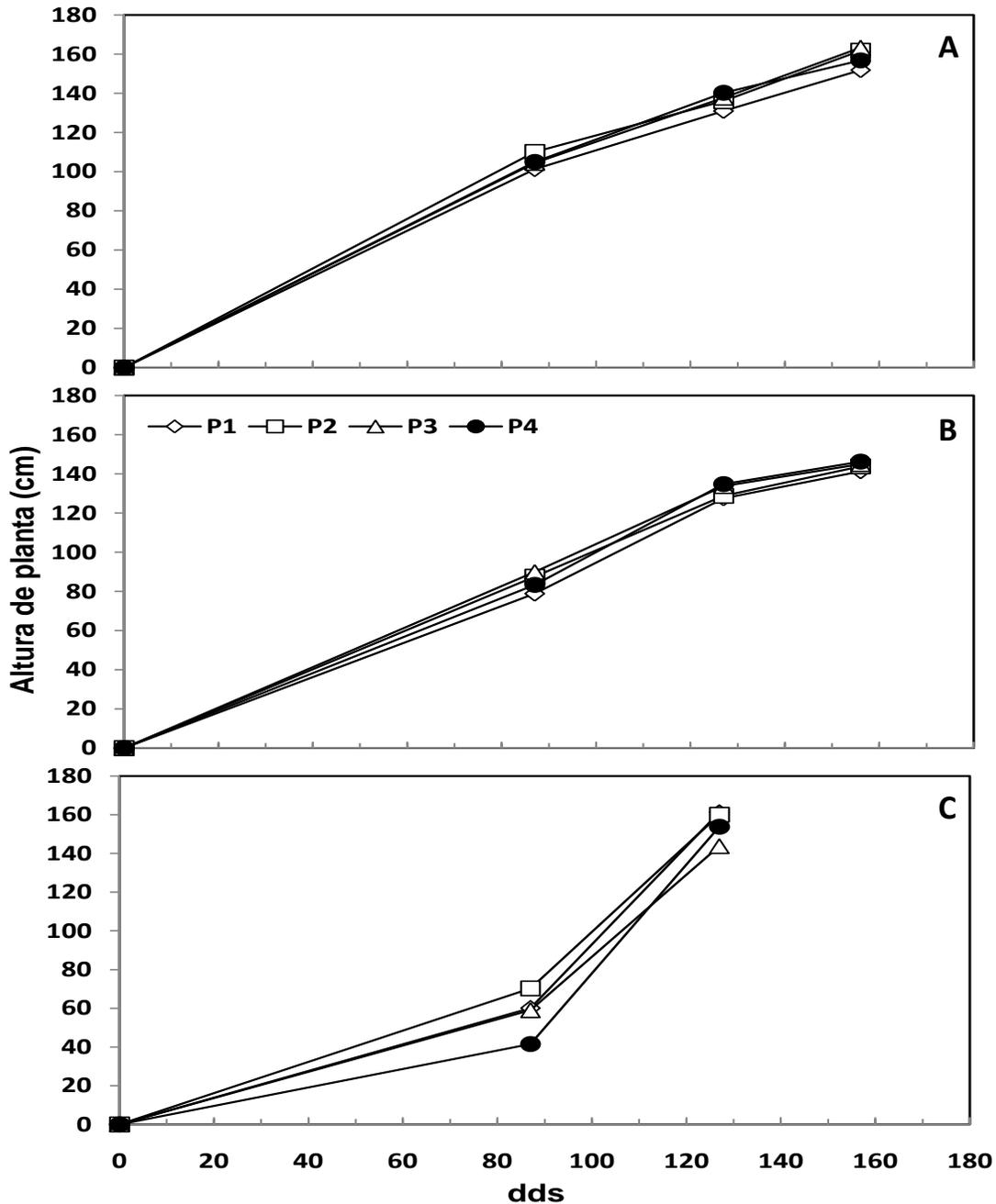


Figura 30. Dinámica de la altura de la planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

La mayor AP se puede atribuir al incremento en el NN ($R^2=0.98$) y la menor longitud de entrenudos ($R^2=0.71$) (Figura 31A y B). Boote *et al.* (2002) concluyen que la altura del cultivo se puede predecir y está en función del NN y de la longitud de entrenudos.

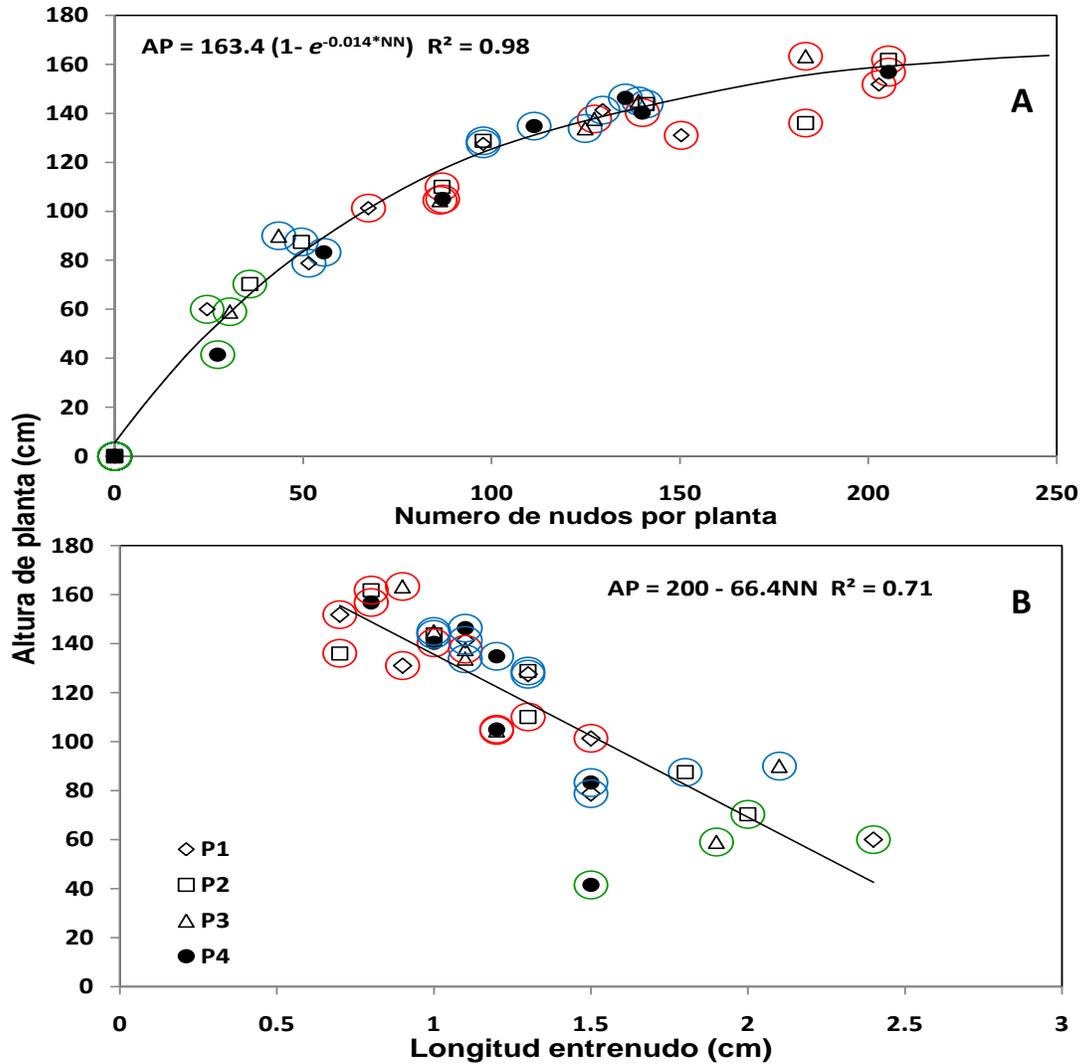


Figura 31. Relación entre la altura de planta (AP) con el número de nudos (NN) (A) y la longitud de entrenudo (LE) (B). Los puntos son datos hasta los 127dds. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

3.2.1.2. Número de nudos por planta (NN)

La aparición de nudos en la planta se fue incrementando durante el desarrollo del cultivo, presentando el valor más alto a los 156 dds (Figura 32A, B y C). Loss *et al.* (1997) y Turpin *et al.* (2002) señalan una relación lineal entre el NN con el tiempo. En promedio el NN en Montecillo (82 y 150) y San Pablo (50 y 108) a los 87 y 127 dds fue mayor en comparación con Cd. Serdán, que presentó 26 y 63 nudos planta⁻¹, respectivamente (Cuadro 8, 9 y 10 Apéndice).

Aunque no existieron diferencias significativas por el suministro de P (excepto San Pablo a los 127 dds) en las tres localidades y muestreos, el mayor NN se encontró con P4 en Montecillo y San Pablo a los 156 dds con 205 y 135, respectivamente. En Cd. Serdán a los 127 dds con P2, se registró en NN mas alto siendo de 72. En el último muestreo el testigo (P1) en San Pablo (129) y Cd. Serdán (58) presentó el NN más bajo, mientras que en Montecillo (183) correspondió a P3 (Cuadro 8, 9 y 10 Apéndice). Karamanos y Giménez (1991) concluyen que el P estimula la síntesis de macromoléculas (como proteínas) incrementando el crecimiento vegetativo.

3.2.1.3. Número de tallos por planta (NT)

En la Figura 33A, B y C, se presenta el NT en las diferentes localidades, se observó que el NT más bajo se mostró al inicio del ciclo del cultivo (87 dds); mientras que el más alto a los 156 dds. Entre localidades en promedio, Montecillo presentó el mayor NT con 4.4, 5.1 y 6.4 a los 87, 127 y 156 dds, en San Pablo fueron de 3.0, 3.3 y 4.2, respectivamente. En Cd. Serdán se encontró menor variación en el NT entre las fechas de muestreo (Cuadro 8, 9 y 10 Apéndice). Loss *et al.* (1997) en diferentes ambientes encontraron un relación entre el NT y la precipitación. Ambientes secos presentaron el menor NT.

En Montecillo se encontraron significativos en el NT ($P \leq 0.05$) a los 156 dds solamente. El mayor NT (7.3) correspondió a P2. Con P3 y P4 el NT disminuyó a los 127 y 156 dds (Cuadro 8 Apéndice). En contraste, San Pablo mostró el mayor NT a los 127 y 156 dds con P3 (4.8) y P4 (5.3), respectivamente. Siendo en estas dos fechas con P2, donde se expresa el NT más bajo (Cuadro 9 Apéndice). Aragón (1993) encontró en clima templado un mayor NT al suministrar entre 40 y 80 kg P ha⁻¹, dosis superiores afectaron la expresión de éste carácter. En Cd. Serdán se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en las dos fechas de muestreo, siendo P2 el de mayor NT con 4.5 y 4.5 a los 87 y 127 dds (Cuadro 10 Apéndice). Marschner (1986) señala que el suministro de P afecta el balance fitohormonal. Así una relación alta de citocinina-auxina generan una mayor formación de tallos (Fosket, 1994). La síntesis y exportación de citocininas es afectada por el suministro de P.

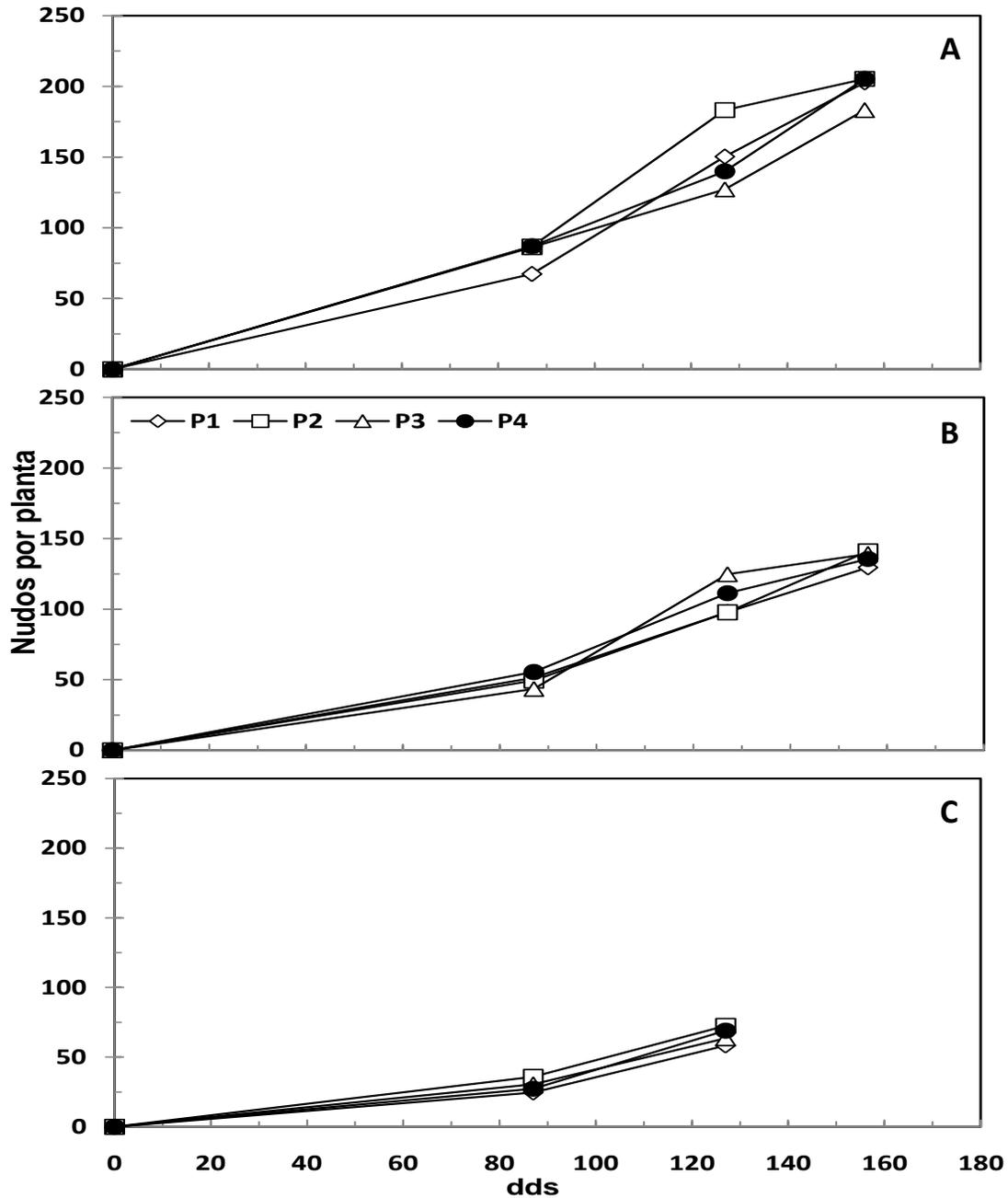


Figura 32. Dinámica del número de nudos por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

3.2.1.4. Tasa de aparición foliar (TAF)

La Figura 34A, B y C muestran la relación lineal que existió entre el número de hojas (NH) total respecto al tiempo. Para estimar la TAF (pendiente de las ecuaciones) se

consideró el NH hasta los 127 dds, ya que posterior a esta fecha comienza la senescencia y abscisión foliar en todos los tratamientos y localidades (Cuadro 7). En promedio Montecillo, presentó la mayor TAF con 0.81 hojas día⁻¹ superando a San Pablo (0.48 hojas día⁻¹) y Cd. Serdán (0.33 hojas día⁻¹) en 41 y 59%, respectivamente. La aparición de hojas se incrementó por el suministro de P en San Pablo y Cd. Serdán.

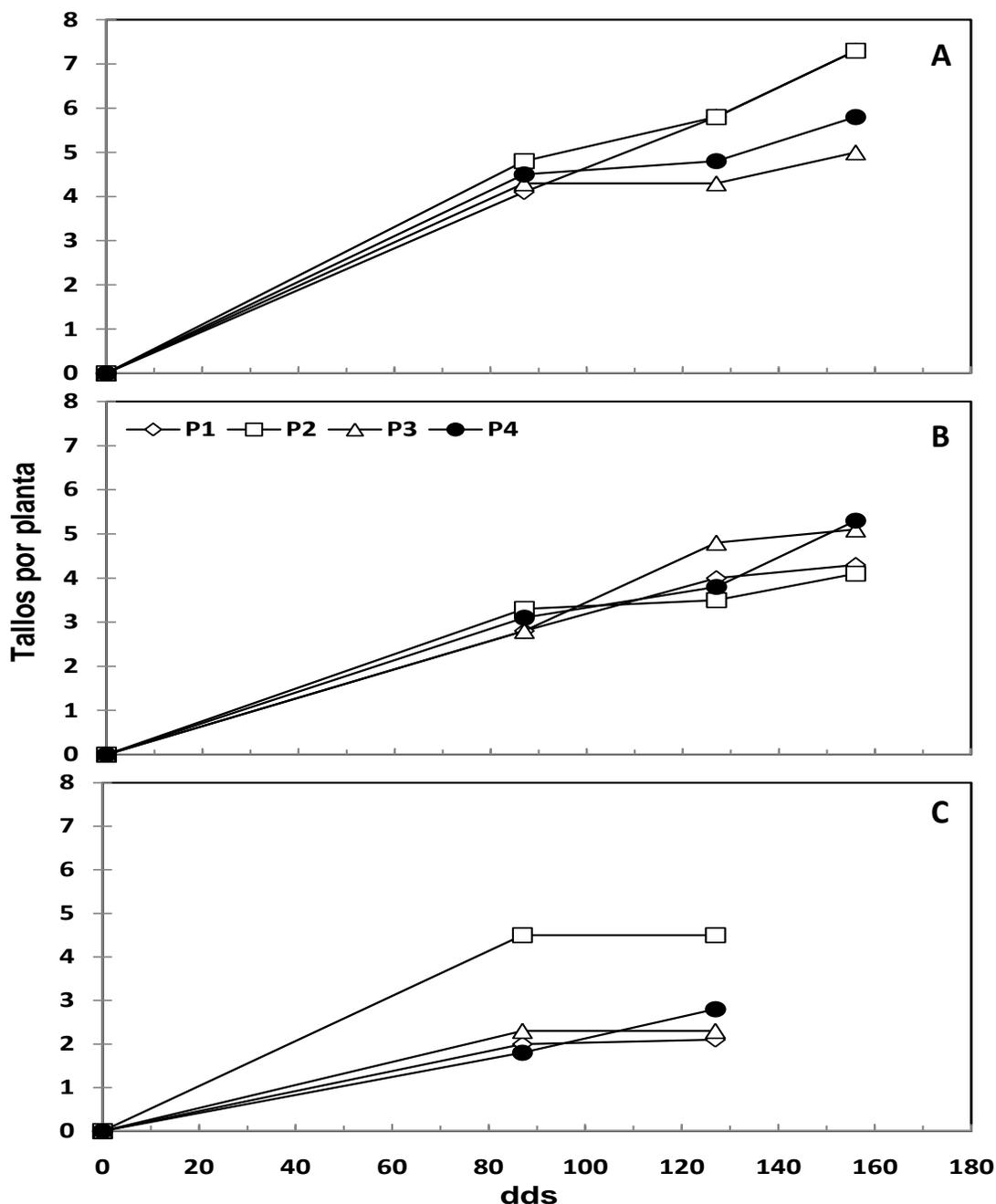


Figura 33. Dinámica del número de tallos por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

Montecillo solo presentó una respuesta positiva hasta P3, encontrándose la mayor TAF en P2 con 0.86 hojas día⁻¹, mientras que en San Pablo y Cd. Serdán, ésta correspondió al suministrar P3 y P2 con 0.54 y 0.42 hojas día⁻¹, respectivamente. Los coeficientes de determinación fueron superiores al 90% ($R^2=0.90$) (Figura 34A, B y C). Una mayor TEF encontró Lynch *et al* (1991) mediante el manejo de la fertilización fosfatada, mientras que Plénet *et al.* (2000) concluyen que la aparición de hojas se retrasa significativamente en ausencia de P. Karamanos (1978) reporta en haba una TAF máxima entre 0.5 y 0.8 hojas día⁻¹.

3.2.1.5. Filocrono

La estimación hasta los 127 dds de filocrono para cada tratamiento y localidad se presenta en la Figura 35. En San Pablo y Cd. Serdán el testigo (P1) presentó el mayor tiempo entre la aparición visual de dos hojas consecutivas con 2.3 y 3.8 días hoja⁻¹, respectivamente. Montecillo, con P4 presenta el mayor valor de filocrono con 1.4 días hoja⁻¹. El menor tiempo en Montecillo y Cd. Serdán se encontró con P2 (1.2 y 2.4 días hoja⁻¹, respectivamente). San Pablo presentó el filocrono más bajo (1.8 días hoja⁻¹) con P3. Rodríguez *et al.* (1998a), demostraron que la deficiencia de P incrementó el tiempo entre la aparición sucesiva de dos hojas. Resultados similares reportan Plénet *et al.* (2000), Colomb *et al.* (2000) y Rodríguez *et al.* (1998b). Cd. Serdán presentó en promedio el valor más alto con 3.2 días hoja⁻¹, mientras que en Montecillo el menor con 1.7 días hoja⁻¹. Como en cualquier proceso relacionado con el desarrollo, la temperatura y el fotoperiodo influyen en la magnitud de la TAF y filocrono (Dale y Miltorpe, 1981).

3.2.1.6. Número de hojas (NH) y foliolulos (NF) por planta

El NH por planta en las tres localidades aumentó desde la emergencia hasta que presenta su valor máximo a los 127 dds. En Montecillo y San Pablo, todos los tratamientos hasta los 156 dds se ajustaron a un modelo polinomial (Cuadro 7). De Costa *et al.* (1997) encontraron resultados similares en cultivares de haba Tina y Gobo. Los coeficientes de determinación (R^2) que osciló entre 0.76 y 0.96, siendo el R^2 mayor

en Montecillo. Cd. Serdán, presentó un R^2 entre 0.79 a 0.90 ajustándose los datos hasta los 127 dds mediante la ecuación lineal.

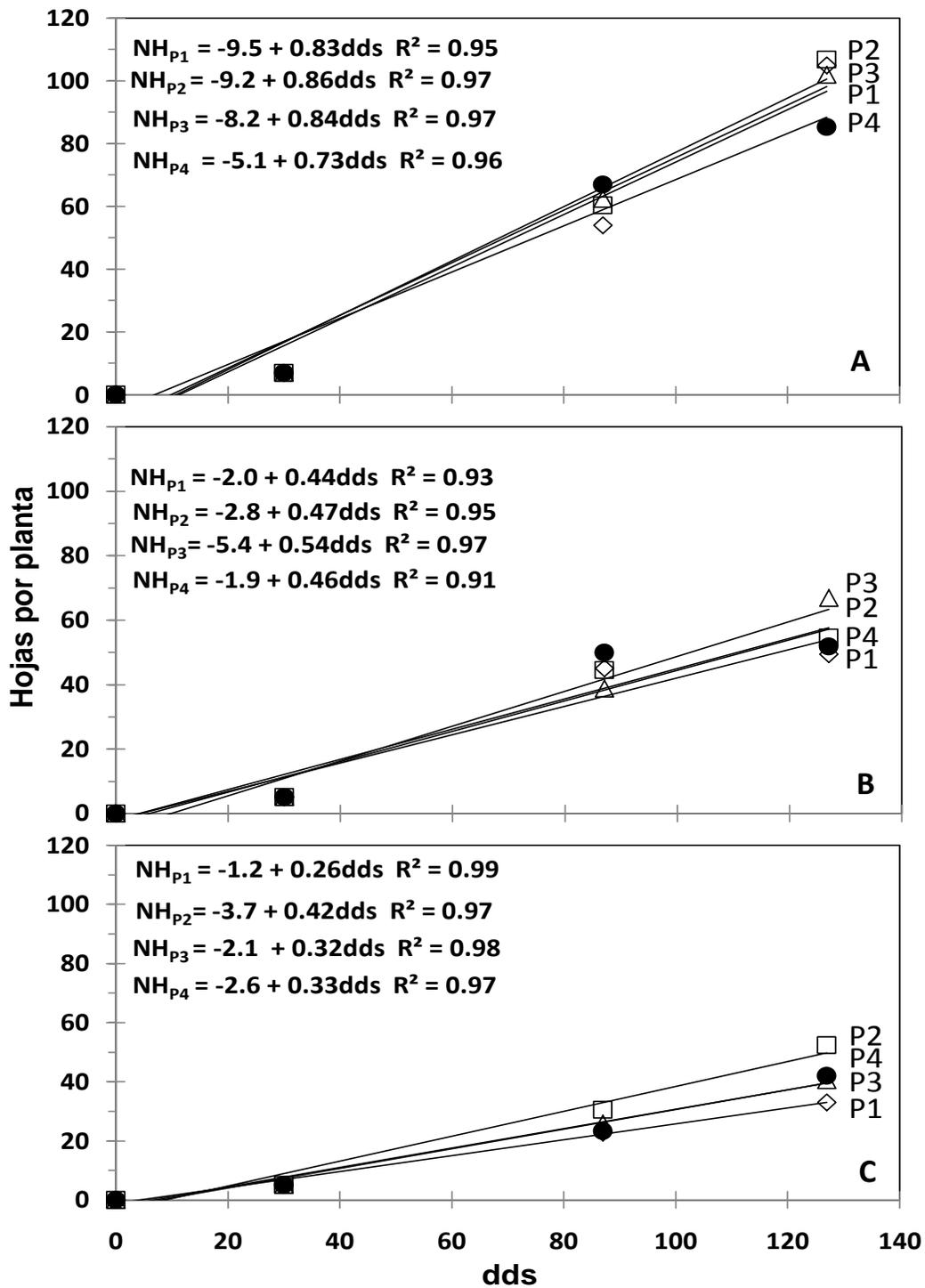


Figura 34. Dinámica del número de hojas por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

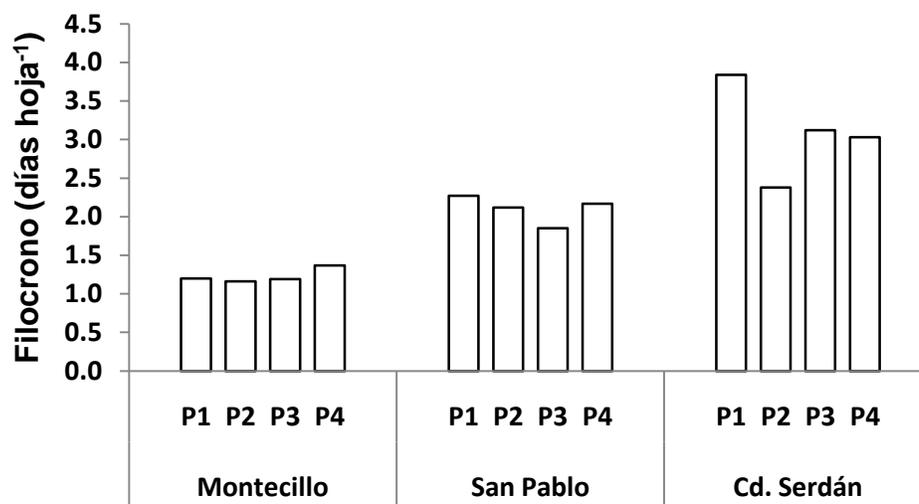


Figura 35. Estimación del filocrono con suministró de fósforo. Primavera 2007. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

Cuadro 7. Ecuaciones que estiman el número de hojas (NH) en haba en base a los días después de la siembra (DDS) con aplicación de fósforo. Primavera 2007.

Tratamiento	Ecuación	R ²
Montecillo		
P1	$NH = -6.77E-12 + 0.99017737DDS - 0.04418378DDS^2 + 0.00072281DDS^3 - 3.03E-06DDS^4$	0.94
P2	$NH = -5.23E-12 + 0.67592583 DDS - 0.02892908 DDS^2 + 0.00054507 DDS^3 - 2.42E-06 DDS^4$	0.94
P3	$NH = -3.66E-12 + 0.39231301 DDS - 0.01467708DDS^2 + 0.00036565 DDS^3 - 1.77E-06 DDS^4$	0.96
P4	$NH = -7.65E-13 - 0.17922227 DDS + 0.01375167DDS^2 + 1.72E-05 DDS^3 - 5.73E-07 DDS^4$	0.77
San Pablo		
P1	$NH = 6.61E-13 + 0.02028882 DDS + 0.00115383 DDS^2 + 0.0001102 DDS^3 - 7.47E-07 DDS^4$	0.84
P2	$NH = 1.16E-12 + 0.1024799 DDS - 0.0028133 DDS^2 + 0.0001604 DDS^3 - 9.11E-07 DDS^4$	0.76
P3	$NH = -3.69E-12 + 0.52193926 DDS - 0.02217614DDS^2 + 0.00039692 DDS^3 - 1.75E-06DDS^4$	0.88
P4	$NH = 1.53E-12 - 0.48426229 DDS + 0.02779817 DDS^2 - 0.00021565 DDS^3 + 4.10E-07 DDS^4$	0.81
Cd. Serdán		
P1	$NH = -2.1253153+ 0.2737204 DDS$	0.90
P2	$NH = -5.0600266 + 0.4268384 DDS$	0.95
P3	$NH = -3.2704044 + 0.33332655 DDS$	0.79
P4	$NH = -3.7691703 + 0.33725961 DDS$	0.84

El número de datos (n) para la estimación fue de 20. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

En lo que se refiere a los tratamientos, Montecillo solo presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) por el suministro de P, solo cuando se presentó el NH más alto (127 dds). El mayor NH (106.8), se encontró en P2, superando a P1, P3 y P4 en un 2.0, 4.5 y 20.1%, respectivamente. Dosis similares o superiores a P4 afectan significativamente el desarrollo foliar (Cuadro 8 Apéndice). En San Pablo, el P no afectó el NH por planta; sin embargo, se observa que a los 87 y 127 dds el NH más alto se mostró con P4 y P3, respectivamente (50 y 67 hojas planta⁻¹). Cuando se presenta el máximo desarrollo foliar (127 dds) el déficit de P afectó el NH por planta (Cuadro 9 Apéndice). A los 90 dds, Ahmed y El-Abagy (2007) encontraron el mayor NH por planta (48.0) al fertilizar con 102 kg P₂O₅ ha⁻¹. En Cd. Serdán, el suministro de P estimuló el NH presentándose su valor máximo a los 87 y 127 dds con P3, en las dos fechas el tratamiento sin P presentó el NH por planta más bajo (Cuadro 10 Apéndice). Una de las principales respuestas a la deficiencia de P es la disminución del crecimiento de vástago, especialmente en el número y tamaño de hojas (Lynch *et al.*, 1991). El desarrollo de vástago requiere de la producción de hojas por el meristemo apical y su subsecuente expansión. Una disminución en el número de hojas con deficiencia de P implica cambios en la tasa de iniciación foliar y la actividad del meristemo apical (Chiera *et al.*, 2002). Sin embargo, Salisbury y Ross (1994), mencionan que el suministro de P en exceso provoca que la mayor energía asimilada se utilice en el crecimiento de la raíz, existiendo una disminución selectiva del crecimiento del vástago.

El comportamiento del NF fue similar al NH, incrementándose hasta los 127 dds, para posteriormente disminuir debido a la senescencia foliar. En promedio Montecillo, presentó el mayor NF por planta con 562 superando por 312 y 334 a San Pablo y Cd. Serdán que presentaron 249 y 227 foliolulos en promedio. En San Pablo y Cd. Serdán el mayor NH coincidió con el mayor NF, así P3 y P2 destacaron por el mayor NF con 267 y 249, respectivamente. En Montecillo por el NF por hoja, P3 fue superior a los tratamientos restantes con 668 foliolulos. El número más bajo de foliolulos, se mostró con P4, P1 y P3 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadro 8, 9 y 10 Apéndice). En la Figura 36, se puede observar que el NH depende del NN, con $R^2 = 0.94$ y se ajusta a un modelo lineal.

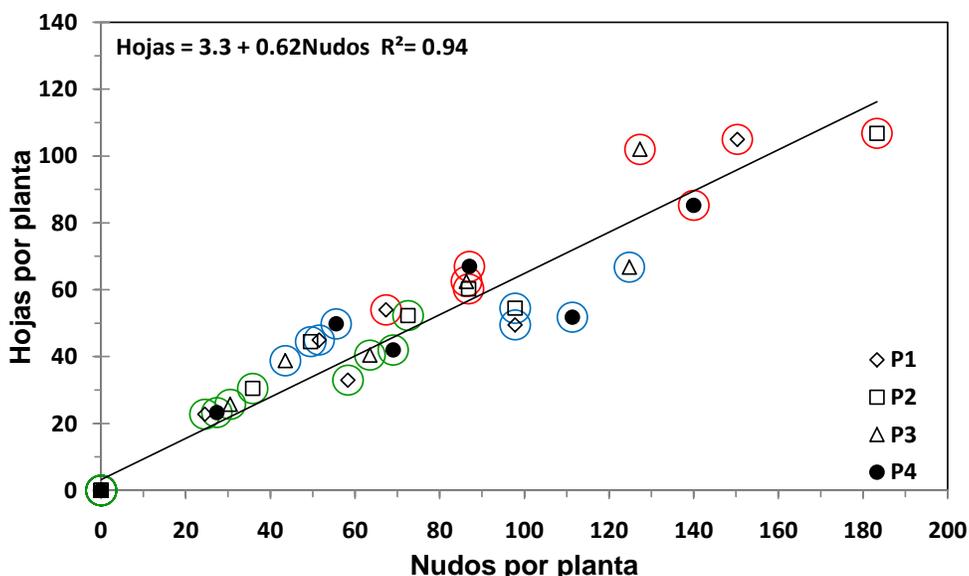


Figura 36. Relación entre el número de hojas con el número de nudos. Los puntos son datos hasta los 127 dds. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

3.2.1.7. Área foliar (AF) y tasa de expansión foliar (TEF)

Todos los tratamientos en Montecillo y San Pablo presentaron la máxima AF durante el ciclo del cultivo a los 127 dds. Montecillo presentó en promedio la máxima área foliar (MAF) entre las localidades con 14862 cm² planta⁻¹ y una TEF hasta los 127 dds de 111.2 cm² día⁻¹, superando a San Pablo con 7115 cm² planta⁻¹, que presentó un AF máxima promedio de 7747 cm² planta⁻¹, ya que su TEF fue menor con 61.8 cm² día⁻¹. Cd. Serdán, en el mismo período presentó una MAF de 5332 cm² planta⁻¹ con un incremento por día de 39.5 cm² (Cuadro 8).

Los cambios en el suministro de P provocó diferencias significativas en el AF solo a los 127 y 87 dds, en Montecillo y Cd. Serdán, respectivamente. En San Pablo, durante el ciclo no se presentaron diferencias estadísticas. Sin embargo, la mayor AF hasta que se observaron los valores más altos, se presenta con P3; siendo de 7240 y 8330 cm² planta⁻¹ para los 87 y 127 dds, respectivamente (Cuadro 9 Apéndice). El incremento de AF se debe a una mayor TEF con 68.4 cm² día⁻¹. La TEF más baja se mostró en P2 (54.1 cm² día⁻¹) y por lo tanto el AF fue solo de 5590 y 6830 cm² planta⁻¹ a los 87 y 127

dds. En Montecillo con P2 y P3 se presentó la TEF más alta con 124 y 134 $\text{cm}^2 \text{ día}^{-1}$ favoreciendo el crecimiento foliar. Así, MAF fue de 16350 y 18730 $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$, respectivamente. Superando en 36 y 44% a P4 que presentó la MAF más baja con 10420 $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ (Cuadro 8 Apéndice). Resultados similares se encontraron en Cd. Serdán, ya que este mismo tratamiento presentó la menor área foliar máxima con 4550 $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$, siendo P2 donde se alcanzó la más alta MAF (6180 $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$) y una TEF de 46.9 $\text{cm}^2 \text{ d}^{-1}$ (Cuadro 8). Ahmed y El–Abagy (2007), señalan un incremento del AF a los 90 y 105 dds con el suministro de P. Chiera *et al.* (2002), mencionan que el tamaño de la hoja está relacionada con cambios en la división y/o expansión celular, especialmente en células epidérmicas foliares. Radin y Eidenbock, (1984) en algodón señalan que bajo un déficit de P la expansión de células epidérmicas fue inhibida por reducir el flujo de agua hacia el vástago, resultado de una menor conductividad hidráulica encontrada en la raíz.

En base a la relación entre la MAF y TEF la duración efectiva de expansión foliar (DEEF) sería hasta los 133, 126 y 135 días en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. En lo que se refiere a los tratamientos, el P no afectó significativamente la DEEF. Se observó que Montecillo, presenta la mayor DEEF con P3 lo cual coincide con la MAF. En San Pablo y Cd. Serdán los tratamientos con la MAF más alta tienen un menor tiempo efectivo de duración foliar.

3.2.1.8. Tasa relativa de senescencia (TRS)

Durante el primer periodo (127–156) en Montecillo y San Pablo fue mayor en el tratamiento testigo (P1) con 0.058 y 0.065 $\text{cm}^2 \text{ cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente. Los valores más bajos se encontraron en P3 y P4, respectivamente. Una deficiencia de P favorece la síntesis excesiva de fibra afectando la senescencia foliar a través de la ruptura física de los cloroplastos. Para el segundo periodo (156–MF) éste orden cambio. Así, la TRS en Montecillo se aceleró por la adición de P, siendo P3 (0.182 $\text{cm}^2 \text{ cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$) donde se encontró el valor más alto, debido posiblemente a la mayor demanda de fotoasimilados provocada por vainas y semillas (Figura 51A). En San Pablo, en contraste la deficiencia de P (P1) incrementó la senescencia foliar con 0.25 $\text{cm}^2 \text{ cm}^{-2} \text{ d}^{-1}$. En promedio la mayor

TRS se encontró en San Pablo debido probablemente mayor rendimiento mostrado en esta región (Cuadro 10). Con el suministro de P se incrementa el contenido de N (Jia y Gray, 2004) y por lo tanto la concentración de clorofila (Guadarrama *et al.*, 2007) disminuyendo la senescencia foliar, sin embargo ésta se puede incrementar por un mayor número de órganos que funcionan como demanda (Pichardo, 2005).

Cuadro 8. Tasa de expansión foliar (TEF), máxima área foliar (MAF), duración efectiva de expansión foliar (DEEF) y tasa relativa de senescencia (TRS) en haba con aplicación de fósforo. Primavera 2007.

Tratamiento	TEF (cm día ⁻¹)	MAF (cm ²)	DEEF (días)	TRS ₁₂₇₋₁₅₆ (cm ² cm ⁻² día ⁻¹)	TRS _{156-MF} (cm ² cm ⁻² día ⁻¹)
Montecillo					
P1	100.1	13950	139	0.058	0.095
P2	124.0	16350	132	0.059	0.111
P3	134.5	18730	139	0.054	0.182
P4	86.1	10420	131	0.055	0.154
Promedio	111.2	14862	133	0.056	0.135
San Pablo					
P1	63.7	8080	127	0.065	0.250
P2	54.1	6830	126	0.056	0.125
P3	68.4	8330	122	0.056	0.182
P4	61.1	7750	127	0.049	0.133
Promedio	61.8	7747	126	0.056	0.172
Cd. Serdán					
P1	39.1	5300	135		
P2	46.9	6180	132		
P3	39.0	5300	136		
P4	33.2	4550	137		
Promedio	39.5	5332	135		

P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹. MF: madurez fisiológica.

3.2.1.9. Índice de área foliar (IAF)

La adición de P provocó cambios significativos solo a los 127 y 87 dds en Montecillo y Cd. Serdán. En San Pablo el comportamiento de los tratamientos fue similar durante el ciclo del cultivo (Cuadro 8, 9 y 10 Apéndice). El IAF expreso su valor máximo a los 127 dds disminuyendo a partir de los 156 dds por la senescencia foliar, los tratamientos que muestran el IAF más bajo a los 156 dds son aquellos que presentan la mayor TRS

durante el periodo 127–156, como se puede observa en la Figura 37 ($R^2=0.54$). Montecillo y San Pablo, en promedio alcanzaron un IAF máximo de 6.0 y 3.2, respectivamente. Presentando el valor más alto al suministrar P3, con 7.1 y 3.5, respectivamente. El valor más bajo fue con P4 y P2 en Montecillo y San Pablo, respectivamente (Figura 38A y B). Cd. Serdán presentó en promedio un IAF a los 127 dds de 2.3, siendo P2 y P4 donde se encontró el mayor y menor IAF, con 2.6 y 1.9, respectivamente (Figura 38C). Resultados similares a ésta región reportan Ahmed y El–Abagy (2007) quienes encontraron un IAF a los 115 dds de 2.4 al suministrar 34 kg P_2O_5 ha^{-1} . En Montecillo con P1, P2 y P3 se encontró un IAF superior al crítico según Ruiz (2003). El mayor IAF se relacionó el número de foliolulos, área foliar y tasa de expansión foliar, estimulada por el P como se observa en la Figura 39A, B y C.

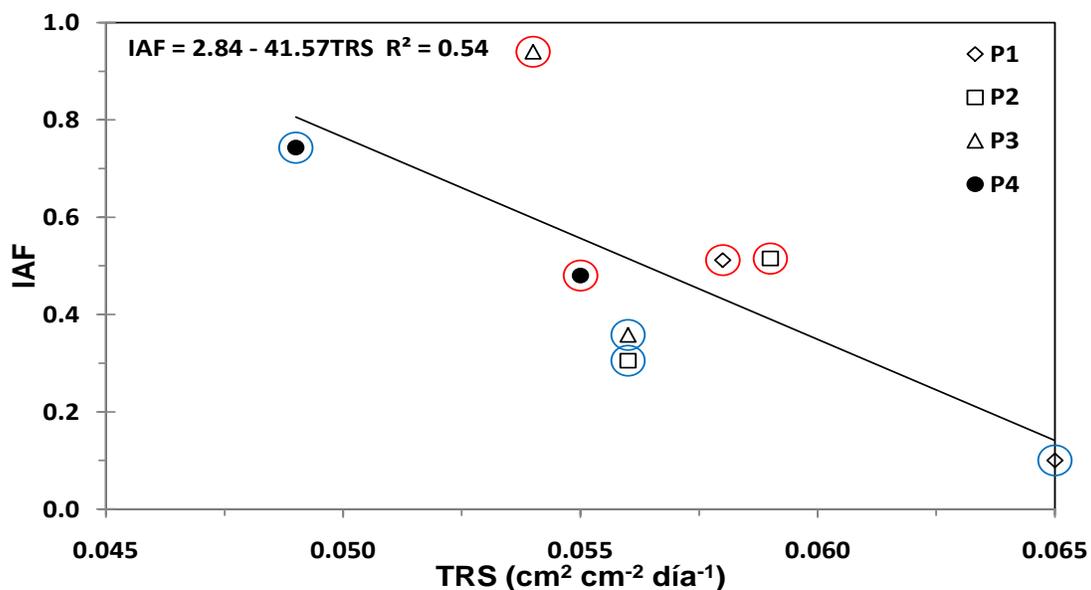


Figura 37. Relación entre índice de área foliar (IAF) a los 156 dds y la tasa relativa de senescencia (TRS) durante el periodo 127–156. Datos entre círculos rojos y azules corresponden a Montecillo y San Pablo, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha^{-1} .

3.2.2 Duración del área foliar (DAF)

A través del ciclo del cultivo en promedio la más alta DAF se encontró a los 127 dds con 180 113 y 66 días en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadro 8, 9 y 10 Apéndice). Estas diferencias posiblemente se asociaron a la precipitación registrada en las localidades. De Costa *et al* (1997), al estudiar el efecto

de diferentes láminas de riego sobre la DAF, encontraron que tratamientos con mayor disponibilidad de agua presentaron una DAF más alta en comparación con los tratamientos establecidos bajo temporal. La menor DAF en Montecillo y San Pablo se mostró al momento de la senescencia foliar (156 dds). El P en Montecillo incrementó la DAF a los 87, 127 y total, sin embargo, el mejor tratamiento presentó variaciones a través del tiempo, ya que a los 87 dds fue con P4; mientras que a los 127 y 156 fue con P2 y P3, respectivamente. Aunque no existieron diferencias significativas en la duración del área foliar total (DAFT), la más alta se presentó al suministrar P2 (476 días) superando a P1, P3 y P4 en 32, 13 y 15%, respectivamente (Cuadro 8 Apéndice). El incremento en la DAFT, por el suministro de P fue debido al incremento en el AF, IAF y NF como se observa en la Figura 40A, B y C. En San Pablo, con excepción de los 156 dds no se presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos. La menor DAFT se encontró en P2 con 234 días, 85 días menos que P3, donde se presentó la DAFT (319 días) (Cuadro 9 Apéndice). Cd. Serdán mostró diferencias significativas durante el ciclo de cultivo ya que P2 registró los valores más altos. Así, a los 87, 127 y total fue de 61, 80 y 140 días, respectivamente. P3 y P4 afecta la DAF debido al IAF encontrado (Cuadro 10 Apéndice).

3.2.3. Porcentaje de radiación interceptada (RI)

La Figura 41A, B y C muestra que el porcentaje de RI en promedio fue mayor en Montecillo a los 87, 127 y 156 dds, en comparación con San Pablo y Cd. Serdán. Los valores más altos fueron a los 127 dds siendo de 98, 86 y 66% en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. Husain *et al.* (1990) reporta la mayor radiación interceptada entre los 100 y 110 dds. Incrementos en la RI se relacionan con un mayor IAF ($R^2=0.86$), AF ($R^2=0.86$), NF ($R^2=0.92$) y DAFT ($R^2=0.78$). En Montecillo el 100% de la RI se observó con P3, seguida de P1 y P2 con más de 99% de RI. La aplicación de P4 disminuyó el IAF y por tanto la RI (Figura 41A). En San Pablo a los 127 dds, en todos los tratamientos la RI fue menor al 90%, aunque no se presentaron diferencias significativas, el mayor porcentaje de RI fue con P4 (89%), siendo P1 y P2 los tratamientos con la RI más baja (85%) (Figura 41B). En contraste con San Pablo, Cd. Serdán presentó los valores más bajos con P4 a los 87 y 127 dds (49 y 80,

respectivamente). La aplicación de P2 incrementó la RI en los dos periodos (68 y 92%) (Figura 41C).

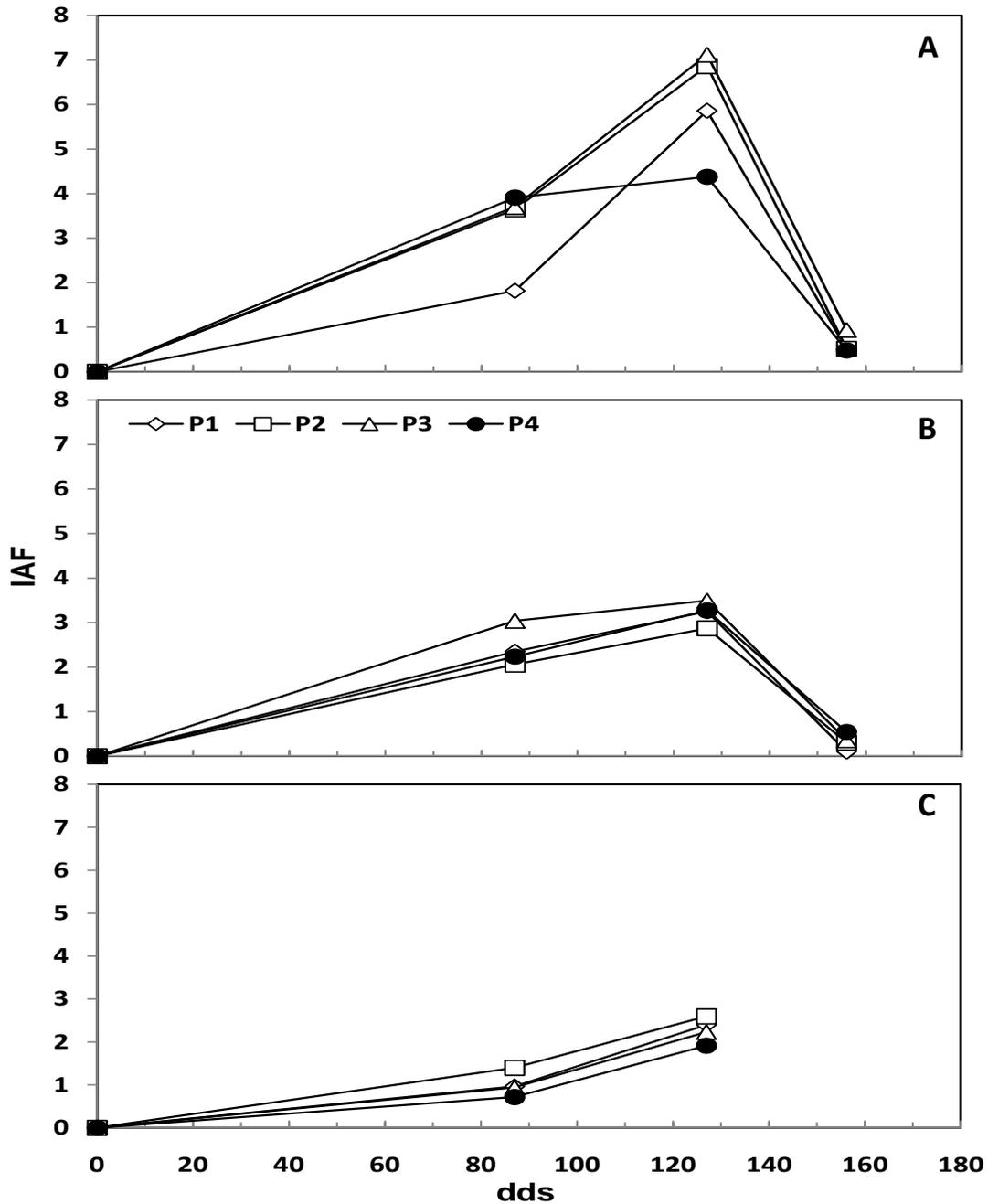


Figura 38. Dinámica del índice de área foliar (IAF) en haba con suministro de fósforo sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (a), San Pablo (b) y Cd. Serdán (c). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

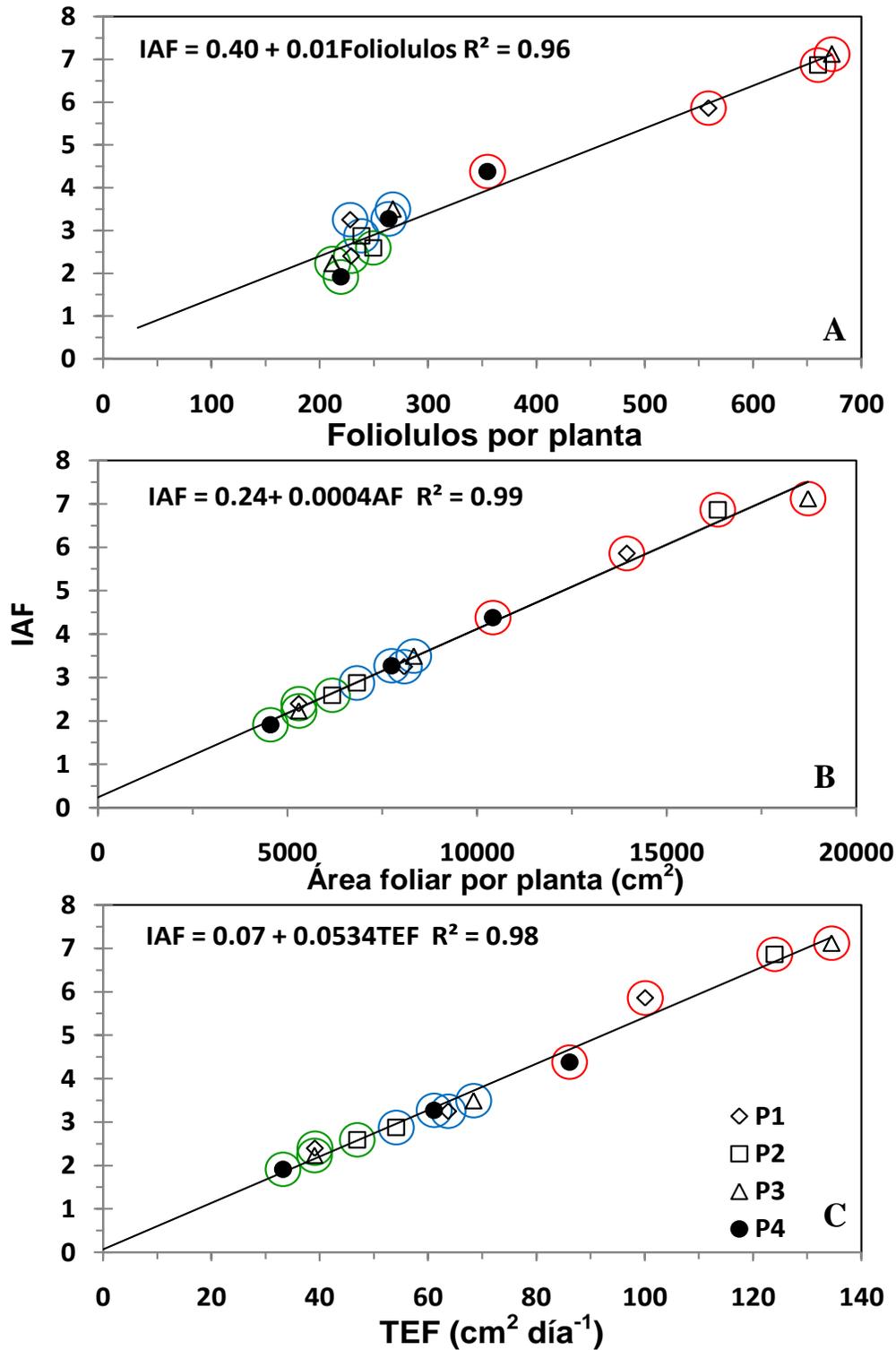


Figura 39. Relación entre el máximo índice de área foliar (IAF) y el máximo número de foliolulos (A), máxima área foliar (AF) (B) y tasa de expansión foliar (TEF) (C). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

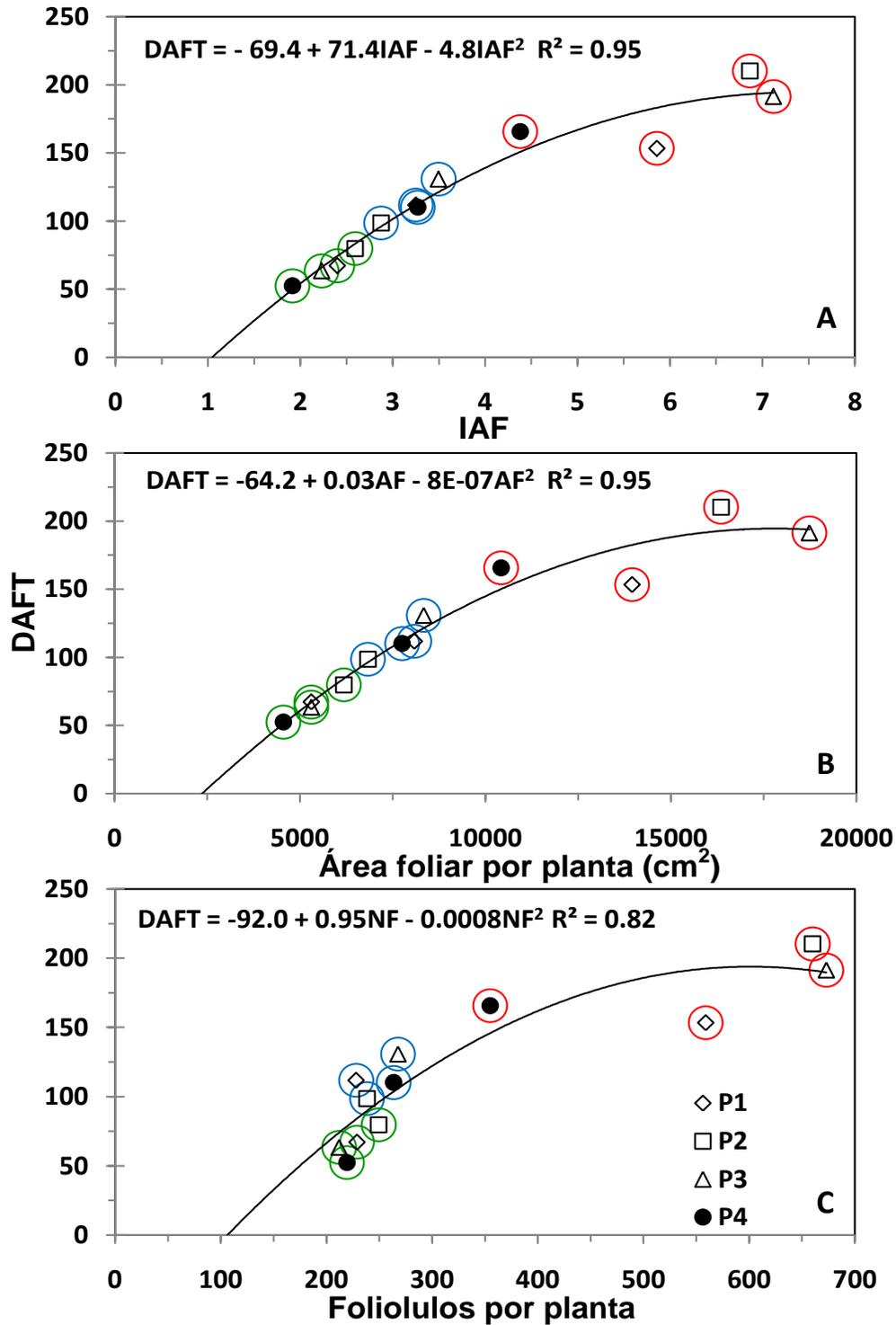


Figura 40. Relación entre la duración del área foliar total (DAFT) el máximo índice de área foliar (IAF) (A), máxima área foliar (AF) (B) y máximo número de foliolulos (C). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

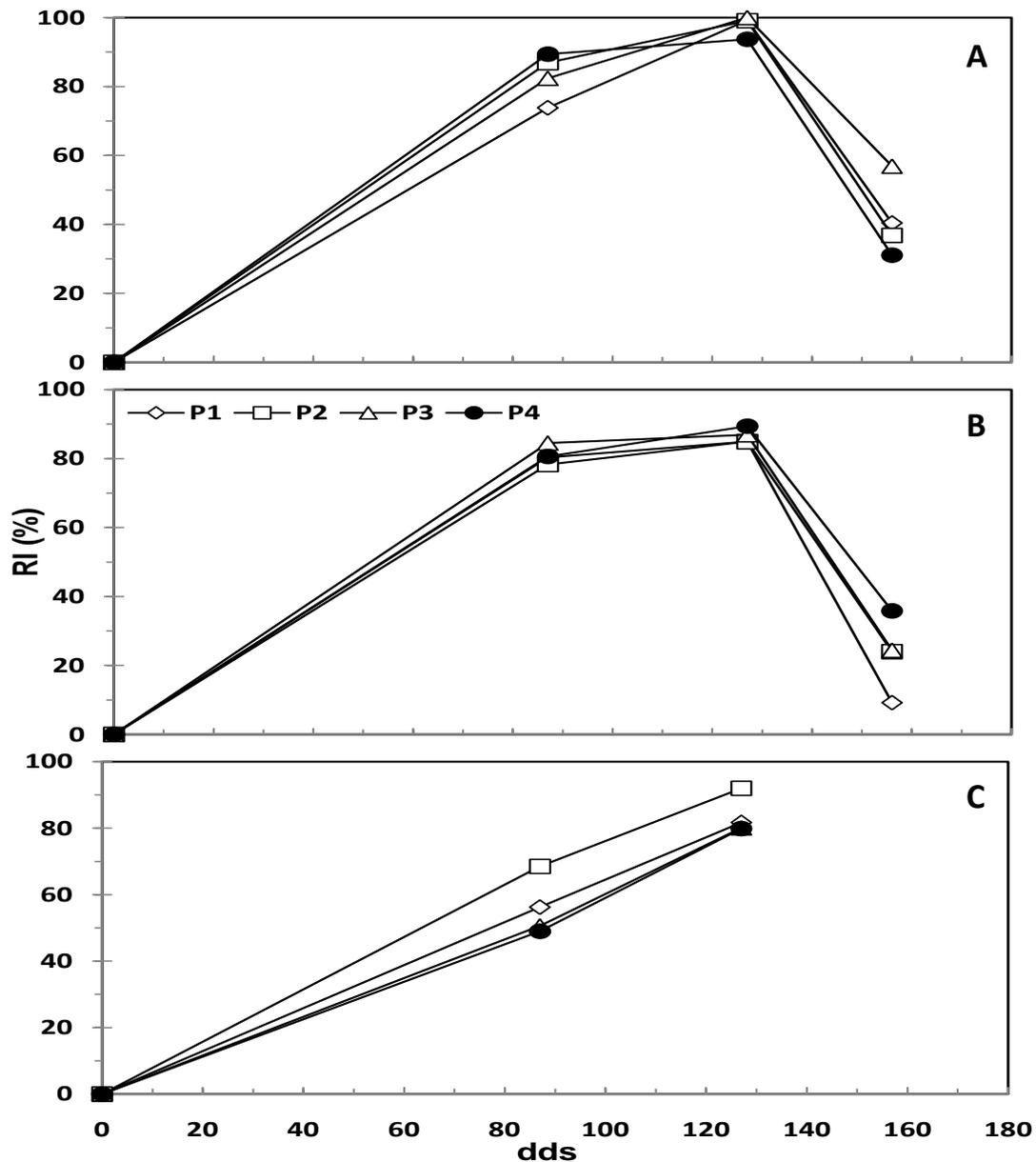


Figura 41. Dinámica del porcentaje de radiación interceptada (RI) en haba con suministro de fósforo sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

3.2.4. Acumulación de materia seca

3.2.4.1. Materia seca en hoja

En la Figura 43, 44 y 45 se observa el efecto del suministro de P sobre la acumulación de materia seca de hoja (AMSH) a través del tiempo en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. En Montecillo se presentó la mayor AMSH promedio a los 87, 127 y 156 dds en comparación con San Pablo y Cd. Serdán.

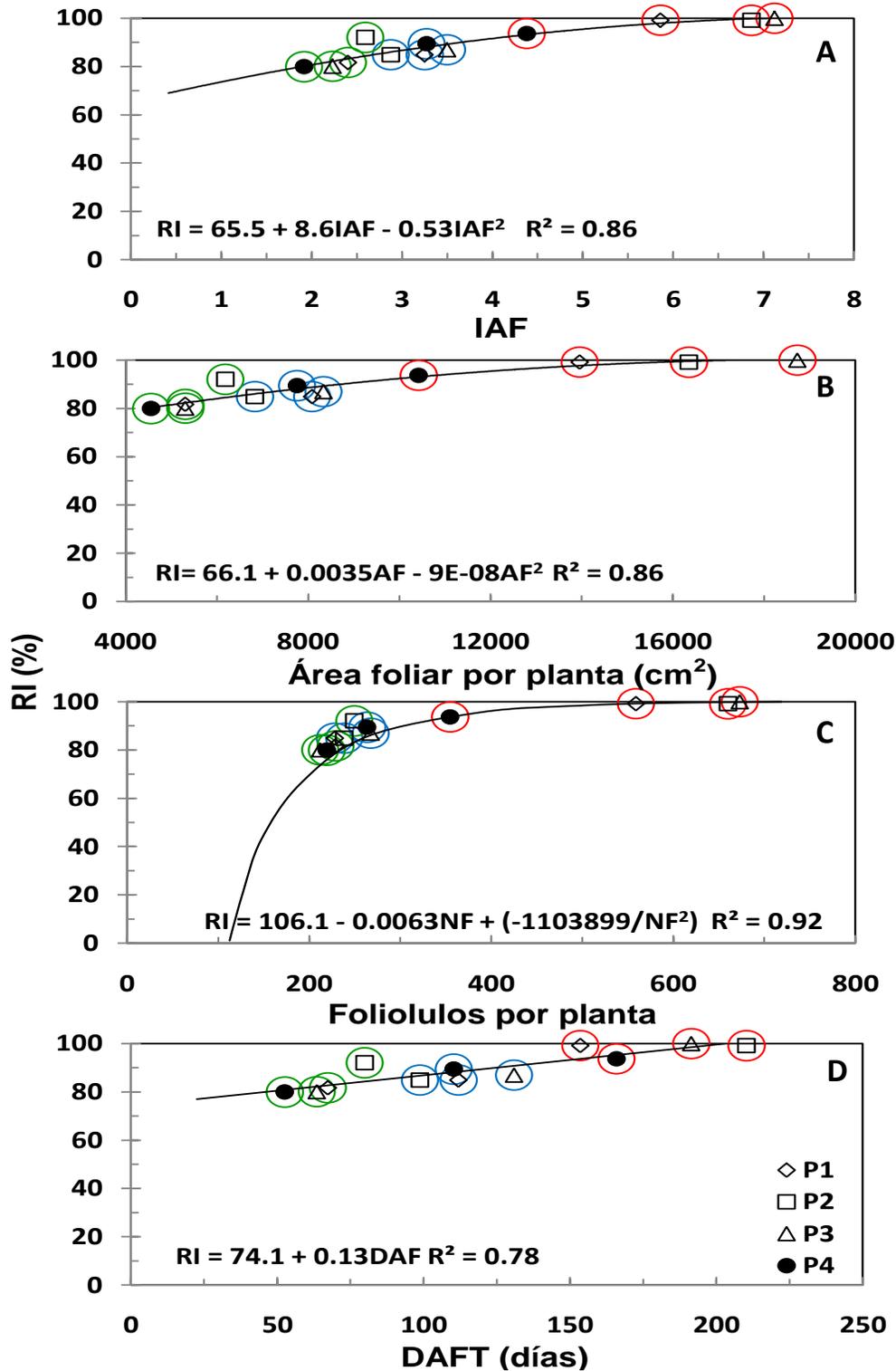


Figura 42. Relación entre la radiación interceptada (RI) y el máximo índice de área foliar (IAF) (A), máxima área foliar (AF) (B), máximo número de foliolulos (C) y duración del área foliar total (DAFT) (D). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

En Montecillo se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la AMSH durante todo el ciclo del cultivo, mientras que en San Pablo fueron solo a los 127 dds. En Cd. Serdán no se observan cambios significativos entre tratamientos. Así, la mayor AMSH se encontró a los 127 dds con P2, P4 y P3 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, siendo de 603, 157 y 1701 g m⁻² (Figura 43, 44 y 45). En San Pablo y Cd. Serdán la AMSH más baja, se registró en el testigo; mientras que en Montecillo fue en P4 debido al menor IAF que se registró a través del ciclo (Figura 38A). Una mayor AMSH con suministro de P reportan Ahmed y El-Abagy (2007), Saad y El-Kholy (2000) y El-Habbasha *et al* (2007), los últimos autores mencionan que el incremento de materia seca foliar se debe posiblemente al papel que juega el P en procesos metabólicos como la fotosíntesis y síntesis de almidón, grasas y proteínas. La AMSH a los 156 dds en todos los tratamientos disminuye aproximadamente en 69 y 41% en Montecillo y San Pablo, respectivamente. La mayor caída en Montecillo se puede explicar, no por una mayor translocación de MS hacia el tallo o semilla, sino por un mayor autosombreo de las hojas (IAF alto) provocando un incremento de la tasa de respiración.

En el Cuadro 11 y 12 Apéndice se puede observar que los tratamientos con mayor pérdida de peso foliar de los 127 a los 156 dds, presentan la mayor acumulación de materia seca en semilla. Por ejemplo, en Montecillo, fueron los tratamientos con P2 y P3 con una caída en la AMSH del 80 y 75%, respectivamente. En San Pablo, fue el tratamiento con P4 y una pérdida en la AMSH de 54.4%. El aumento en la AMSH, se relacionó con incrementos en el IAF ($R^2=0.80$) y AF ($R^2=0.80$) (Figura 46).

3.2.4.2. Materia seca tallo

La acumulación de materia seca de tallo (AMST) en los diferentes tratamientos y localidades se observa en la Figura 43, 44 y 45. De los experimentos evaluados solo Montecillo presentó diferencias estadísticas ($P \geq 0.05$) a los 87 y 127 dds. La AMST en promedio se incrementó durante el desarrollo del cultivo (Figura 43). Después de los 156 dds en Montecillo y San Pablo la AMST disminuye. Similar a lo encontrado por Pilbeam *et al.* (1989) y Turpin *et al.* (2003). La menor materia seca encontrada en tallo al final de ciclo de cultivo se debe a que ciertos tallos secundarios presentaron una rápida senescencia y no llegan a contabilizarse (Gardner *et al.*, 1985).

La máxima AMST se encontró a los 156 dds en Montecillo y San Pablo con 483 y 4601 g m⁻², respectivamente. Mientras que en Cd. Serdán fue a los 127 dds con 359 g m⁻². La AMST más alta se presentó con P3 en Montecillo (489 g m⁻²), siendo éste mismo tratamiento en San Pablo y Cd. Serdán el de menor producción de materia seca (405 y 294 g m⁻², respectivamente), superando en un 20 y 17% por la aplicación de P4 y P1, respectivamente, que presentaron los valores más altos (506 y 354 g m⁻²) (Cuadro 11, 12 y 13 Apéndice). Aunque el tratamiento testigo en Cd. Serdán mostró la mayor AMST, su translocación hacia la semilla (IC) es la más baja (Cuadro 10). Una mayor AMST encontraron Cruz (1993); Nuruzzaman *et al.* (2005); Ahmed y El-Abagy (2007); El-Habbasha *et al.* (2007) y en vástago (tallos + hojas). El suministro de P incrementa la concentración de compuestos fosforados (ácidos nucleicos, fosfolípidos y coenzimas) y por tanto la acumulación de materia seca en vástago (El-Habbasha *et al.*, 2007). En general, el incremento en la AMST hasta los 156 dds se debe principalmente a la mayor altura de planta ($R^2=0.90$) y en menor grado al número de tallos por m² ($R=0.76$). (Figura 47).

3.2.4.3. Materia seca fruto (pericarpio + semilla)

La acumulación de materia seca de fruto (AMSF) en Montecillo y San Pablo se incrementó desde los 87 dds hasta la MF (Figura 43 y 44). En Cd. Serdán, comenzó hasta los 127 dds (Figura 45). Resultados similares reportan De Costa *et al.* (1997) en diferentes cultivares de haba. La mayor AMSF se registró a la madurez fisiológica (MF) en las tres localidades con un promedio de 280, 402 y 340 g m⁻² en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. Así, la máxima AMSF presentó diferencias ($P\leq 0.05$) en San Pablo y Cd. Serdán; mientras que en Montecillo no se observaron. La deficiencia de P en Montecillo y San Pablo provocó la menor AMSF con 213 y 316 g m⁻², siendo los tratamientos con P2 y P4 donde se mostraron los valores más altos con 319 y 482 g m⁻², respectivamente (Cuadro 11 y 12 Apéndice). Un comportamiento contrastante presentó Cd. Serdán, ya que en los mismos tratamientos se encontró la AMSF más baja (288 y 289 g m⁻², respectivamente). Superados por P1 que presentó la mayor AMSF (446 g m⁻²) (Cuadro 13 Apéndice). El P mejora el crecimiento y arquitectura radical, incrementando la absorción de agua y nutrientes, favoreciendo la

producción de asimilados lo cual se refleja en rendimientos altos y sus componentes. Un incremento en el peso seco de vaina con la adición de P, encontraron Ahmed y El-Abagy (2007) y El-Habbasha *et al* (2007).

3.2.4.4. Materia seca total

La acumulación de materia seca total (AMSTO) durante el ciclo de cultivo registró diferencias significativas a los 87 y 156 dds en Montecillo, 127 y MF en San Pablo y MF en Cd. Serdán. En promedio en Montecillo se incrementa hasta los 127 dds, después de esta fecha presenta una disminución del 3 y 30% a los 156 dds y MF, respectivamente. En San Pablo y Cd. Serdán la caída en la AMS total se presentó solo hasta la MF con el 2% en ambas localidades. La caída en la AMSTO en Montecillo y San Pablo se debe a la pérdida de materia seca que se presentó en hoja y tallo a los 156 dds y MF, respectivamente. En Cd. Serdán, fue por la pérdida de materia seca en tallo que se presentó a la MF (Cuadro 11, 12 y 13 Apéndice). En promedio la mayor AMSTO se encontró a los 127, 156 y 127 dds en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, siendo de 829, 808 y 679 g m⁻², respectivamente (Figura 43, 44 y 45).

Con respecto a los tratamientos en Montecillo a los 127 dds la mayor AMSTO se encontró (aunque no se observaron diferencias significativas) con P2, mientras la más baja la mostró P4. Sin embargo, este tratamiento a los 156 dds presenta su valor máximo, mientras que en los tratamientos restantes disminuye. Así, a la MF el suministro de P2 registra la mayor AMSTO con 632 g m⁻² superando en 20% al testigo (P1) que presentó el valor más bajo (502.4 g m⁻²) (Cuadro 11 Apéndice). Amanuel *et al.* (2000) reportan un incremento en la biomasa total del 34% al fertilizar con 20 kg P ha⁻¹. En San Pablo la máxima AMSTO que se encontró a los 156 dds, no presentó diferencias estadísticas. Así el valor más alto se mostró con P2 y el más bajo P3, sin embargo, este mismo tratamiento junto con P4 aumentaron su biomasa a la MF (865 y 883 g m⁻², respectivamente). Mientras que con P1 y P2 (665 y 705 g m⁻², respectivamente), disminuye presentando los valores más bajos (Cuadro 12 Apéndice). Las diferencias entre tratamientos en Cd. Serdán fueron no significativas a los 87 y 127 dds, presentando diferencias hasta la MF. Así, el tratamiento con la AMSTO más alta fue P2 con 743 g m⁻² superando por 202 y 173 g m⁻² a las dosis de P3 y P4 que

presentaron la menor AMS total (541.2 y 570.6 g m⁻², respectivamente) (Cuadro 13 Apéndice). La AMST es producto de la fijación de CO₂, y el suministro de P incrementa la tasa fijación por unidad de AF, especialmente en hojas basales (Karamanos y Giménez, 1991 y Jia y Gray, 2004). Así mismo, la AMSTO, hasta los 127 dds se relacionó con la RI (R²=0.87), mientras que los cambios en la DAFT total influyen en la AMSTO a la MF (R²=0.91) (Figura 48).

3.2.5. Acumulación y distribución de materia seca en los diferentes órganos a la madurez fisiológica (MF)

La acumulación de materia seca total (AMSTO) a la MF fue en promedio de 578, 780 y 631 g m⁻² en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. De la cual la mayor parte se distribuyó en el tallo con 52, 49 y 46%, en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. Cd. Serdán presentó la mayor distribución de materia seca en semilla con 39% superando a Montecillo y San Pablo que presentaron el 37.6 y 35.5%. Pichardo (2005), encontró distribución de materia seca en cultivares de haba entre el 48 y 56% en tallo y 26 y 32% en semilla.

En lo que se refiere a los tratamientos sin aplicación de P presentó la mayor distribución de MS en el tallo con 57, 53 y 50% en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. Sin embargo, a este tratamiento correspondió el menor porcentaje de MS en semilla, siendo de 31.7, 34.3 y 35.9, respectivamente. Indicando que la adición de fósforo incrementa la translocación de materia seca hacia la semilla. Los tratamientos con mayor distribución de MS en este órgano fueron P3, P4 y P3 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. En pericarpio la MS, generalmente se incremento por el suministro de P en las tres localidades.

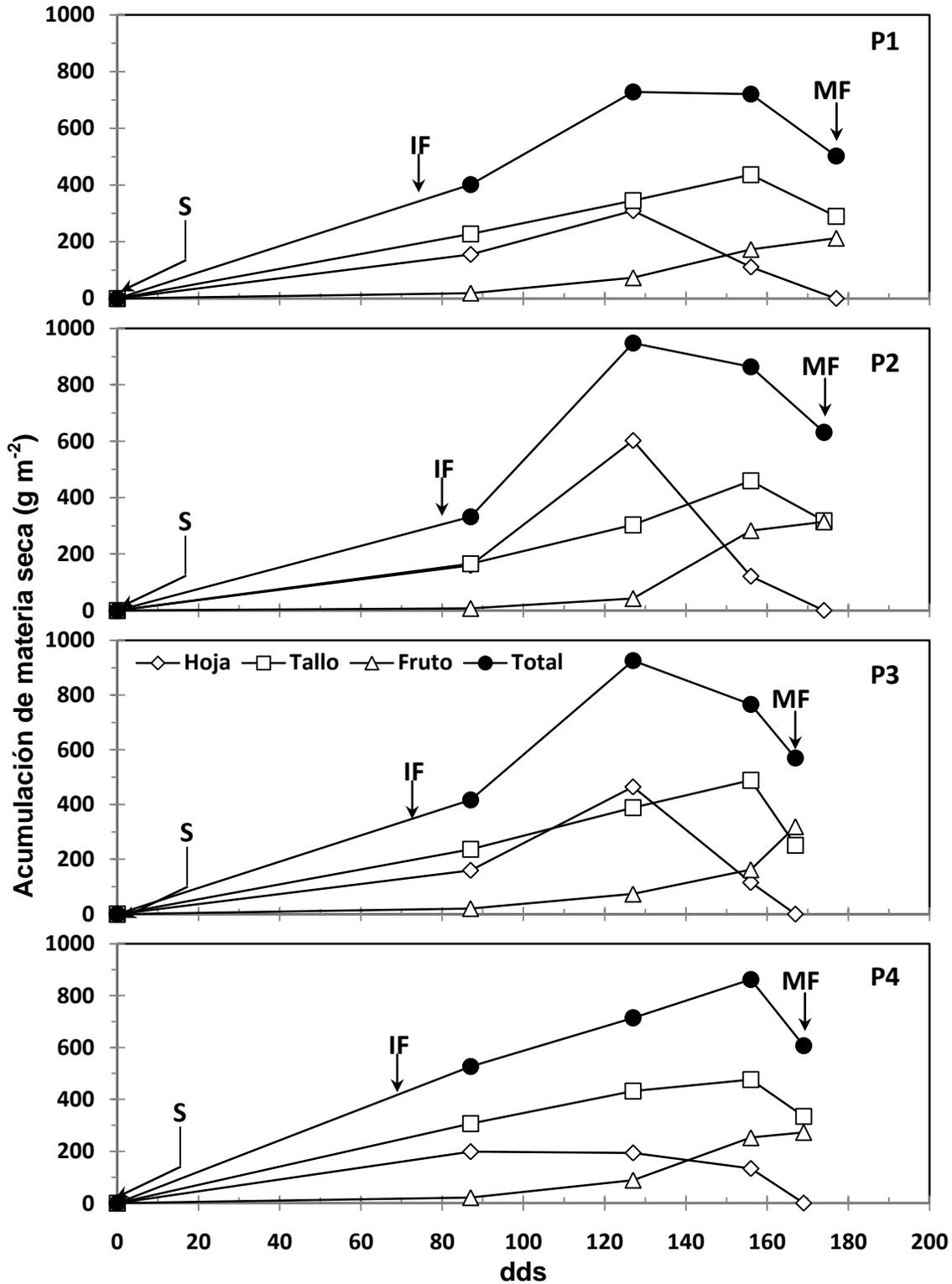


Figura 43. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con suministro de fósforo. Montecillo, Méx. Primavera, 2007. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹. dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica.

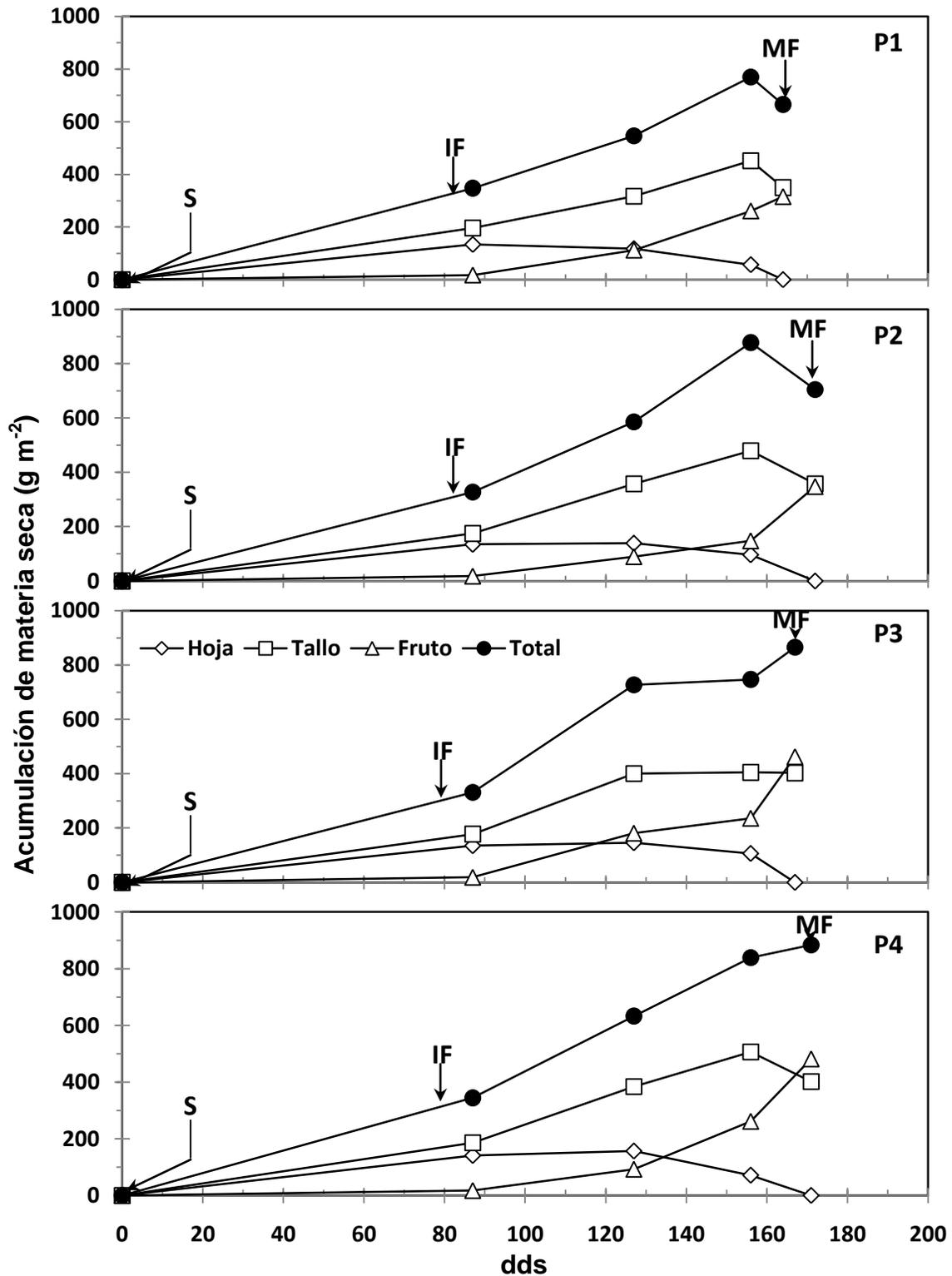


Figura 44. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con suministro de fósforo. San Pablo Ixayoc, Méx. Primavera, 2007. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹. dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica.

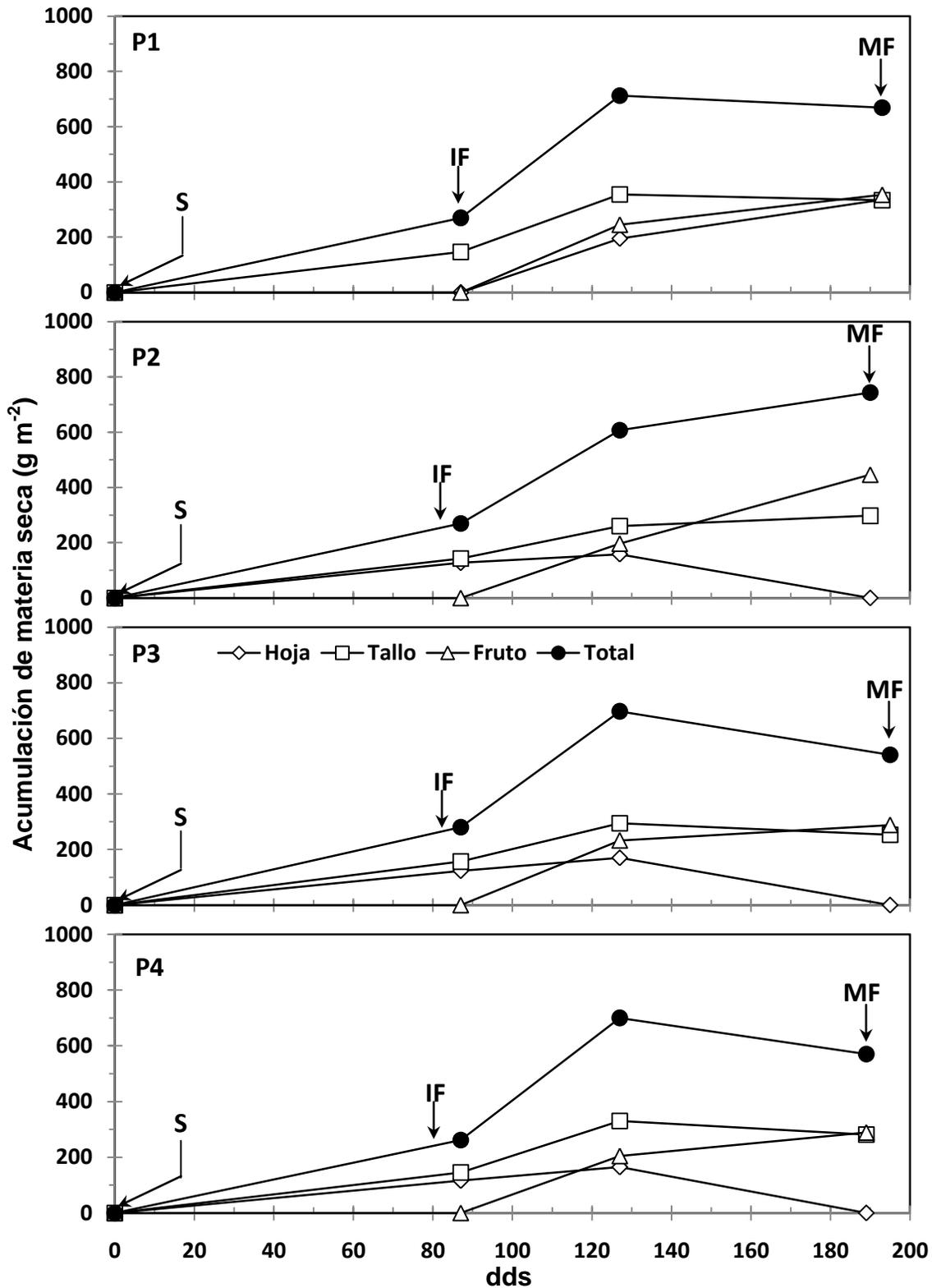


Figura 45. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con suministro de fósforo. Cd. Serdán, Puebla. Primavera, 2007. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹. dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica.

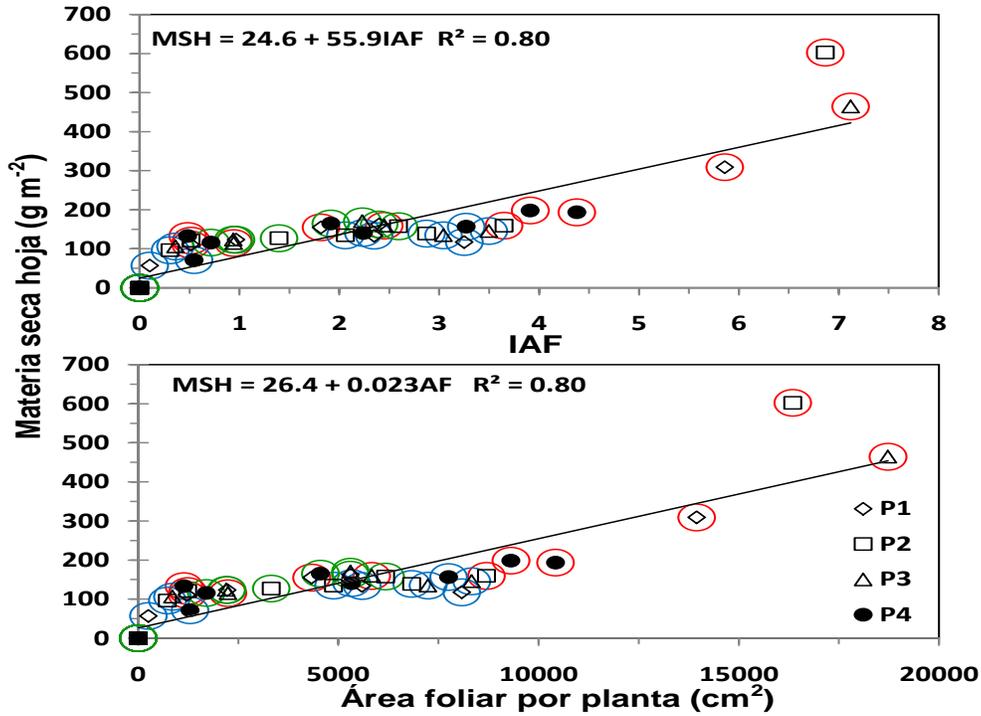


Figura 46. Relación entre la Materia seca hoja (MSH) hasta los 127 dds y el índice de área foliar (IAF) y el área foliar (AF). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

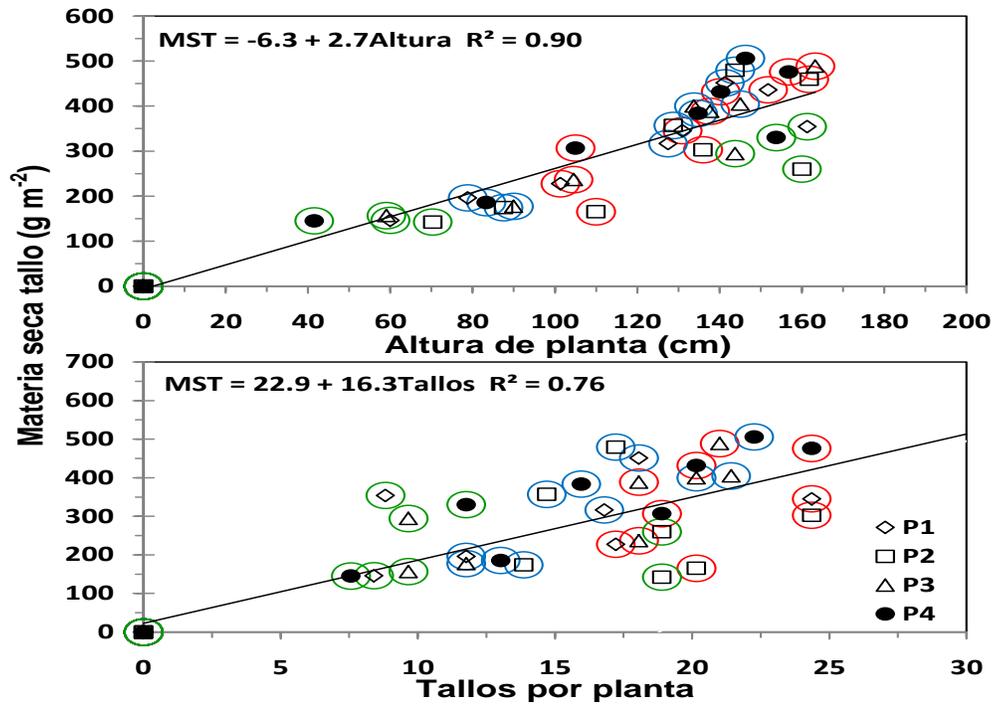


Figura 47. Relación entre la Materia seca tallo (MST) hasta los 127 dds y la altura de planta (AP) y número de tallos. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

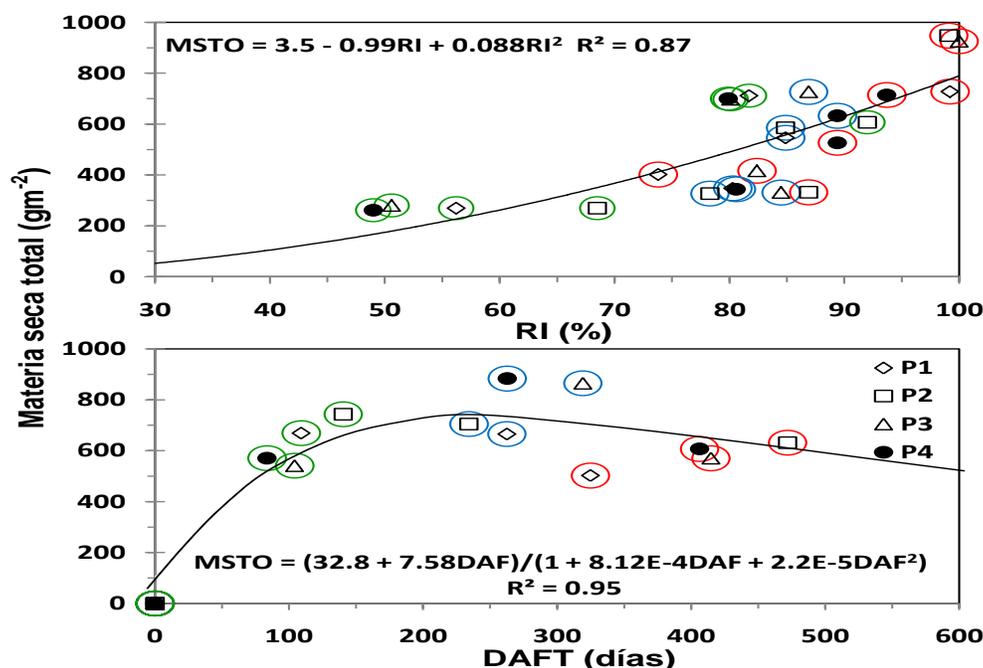


Figura 48. Relación entre la materia seca total (MSTO) hasta los 127 dds y la radiación interceptada (RI) y la MST y la duración del área foliar total (DAFT) a la MF. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

Cuadro 9. Acumulación y distribución de materia seca en los diferentes órganos de la planta a la madurez fisiológica en función del P. Primavera 2007.

Tratamiento	Materia seca (g m ⁻²)					Distribución de materia seca (%)				
	Hoja	Tallo	Semilla	Pericarpio	Total	Hoja	Tallo	Semilla	Pericarpio	
Montecillo										
P1	0.0	289.9	159.5	53.1	502.4	0.0	57.7	31.7	10.6	
P2	0.0	317.9	224.7	89.0	631.5	0.0	50.3	35.6	14.1	
P3	0.0	250.9	234.1	85.2	570.2	0.0	44.0	41.1	14.9	
P4	0.0	334.0	203.8	69.2	607.0	0.0	55.0	33.6	11.4	
San Pablo										
P1	0.0	349.8	227.9	87.8	665.4	0.0	52.6	34.3	13.2	
P2	0.0	357.7	255.8	91.4	704.8	0.0	50.7	36.3	13.0	
P3	0.0	402.8	335.9	126.7	865.4	0.0	46.5	38.8	14.6	
P4	0.0	401.8	364.5	117.2	883.4	0.0	45.5	41.3	13.3	
Cd. Serdán										
P1	0.0	333.5	240.3	95.2	669.1	0.0	49.9	35.9	14.2	
P2	0.0	297.4	318.9	127.1	743.3	0.0	40.0	42.9	17.1	
P3	0.0	252.8	211.4	77.0	541.2	0.0	46.7	39.1	14.2	
P4	0.0	281.4	208.2	80.6	570.6	0.0	49.3	36.6	14.1	

P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

3.2.6. Rendimiento de vaina verde (RVV)

Montecillo y San Pablo presentaron un RVV similar con 811 y 810 g m⁻². Cd. Serdán presentó el rendimiento más alto con 998 g m⁻². Este rendimiento se asoció principalmente con el peso de vaina verde (PVV) promedio (11.3 g), ya que NVV más alto se encontró en Montecillo (108) (Cuadro 14 Apéndice).

En las tres localidades, se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el RVV por los tratamientos evaluados. En Montecillo P1 y P4 afectan la producción de frutos presentando los valores más bajos con 733 y 662 g m⁻². Con P2 se registró el RVV más alto siendo de 1046 g m⁻². El incremento del RVV por kg P fueron de 8.9 g m⁻² (Figura 49A). El número de vainas verdes (NVV) fue más alto con P2 y P3 (144 y 116) superando en 40 y 25% al tratamiento de P4 que mostró los valores más bajos con 86.4. El peso de vaina verde (PVV) registró un comportamiento inverso al NVV, ya que los tratamientos con mayor PVV fueron P1 y P4, mientras que el PVV más bajo fue en P2 y P3. En San Pablo, al aumentar la dosis de P, se incrementó el RVV. Así, con P4 se encontró el valor más alto con 1258 superando con 392, 362 y 288 g m⁻² a P1, P2 y P3, respectivamente (Figura 49A). El NVV al igual que el RVV se favorecieron por el suministro de P, siendo de 77, 80, 95 y 123 para P1, P2, P3 y P4, respectivamente. El PVV no mostró diferencias significativas oscilando entre 10 y 12 g. Para Cd. Serdán de igual manera el P incrementó el RVV. Sin embargo, el RVV más alto se encontró con P3 (980 g m⁻²), mientras que el tratamiento sin P (P1) el más bajo con 656 g m⁻². El incremento por kg de P fue menor a Montecillo con 8.7 kg de vaina verde. El NVV y PVV no presentó diferencias entre tratamientos, no obstante los valores más altos se presentaron en P3.

3.2.7. Componentes de rendimiento en grano seco

3.2.7.1. Número (NV) y peso de vaina (PV)

El PV (g m⁻²) mostró diferencias significativas por los tratamientos evaluados en San Pablo y Cd. Serdán. En el NV (m²) solo presentó en Montecillo y Cd. Serdán. Así, el NV en Montecillo se incrementó hasta P3 que presentó 117 vainas. El testigo (P1) y P4 presentaron los valores más bajos con 67 y 93 vainas (Cuadro 10). Un número de

vainas más alto con P en el oriente del Estado de México encontraron Cruz (1993) y Aragón (1993). El mayor número de vainas en los tratamientos con P, puede deberse al hecho de que el P mejora el potencial productivo de las plantas ya que forma parte estructural de ácidos nucleicos y azúcares fosfatados además se involucra en la transferencia de energía (Azam, 2002).

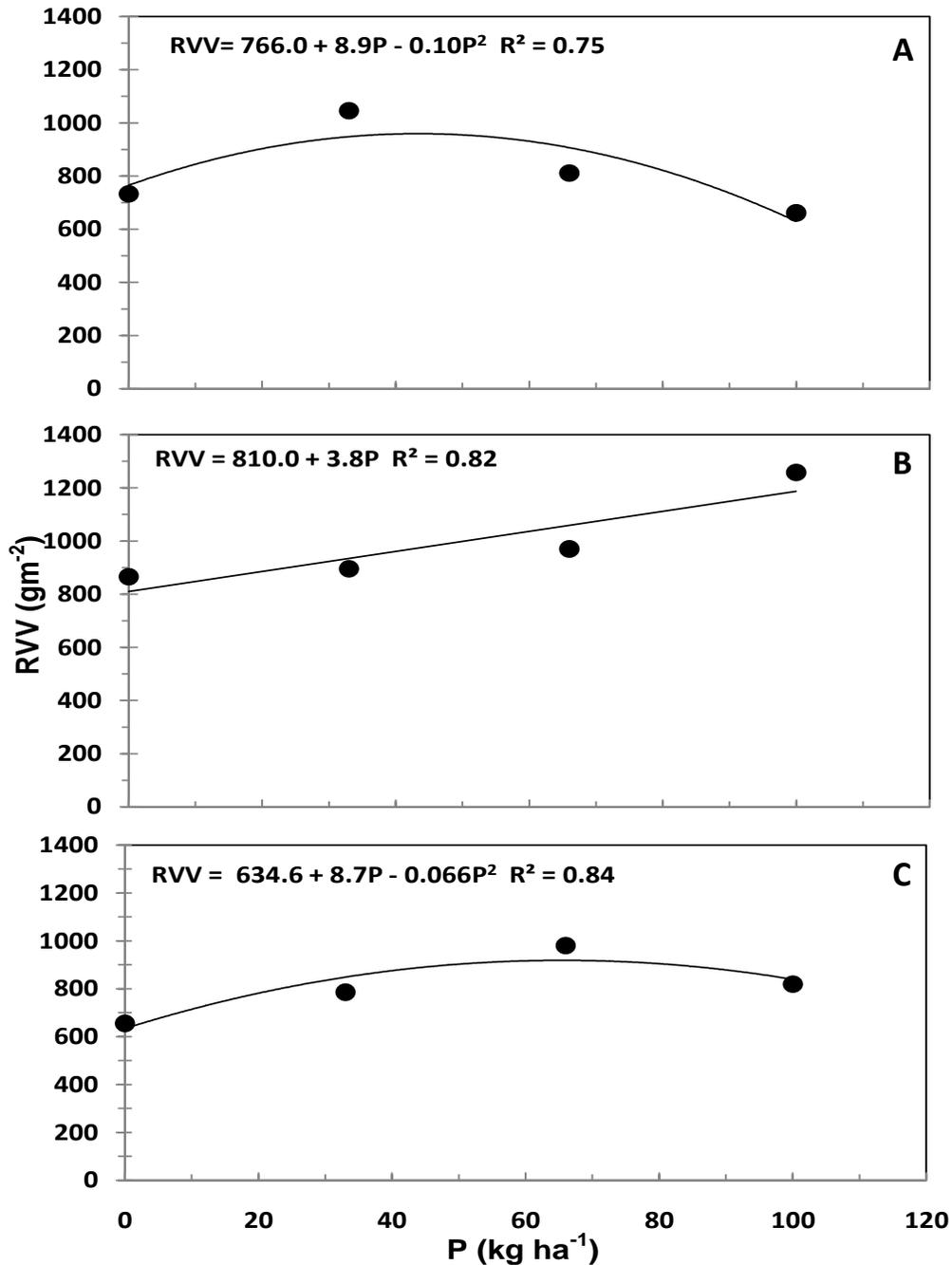


Figura 49. Rendimiento de vaina verde (RVV) en haba con suministro de fósforo (P) sembrada en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007.

Cd. Serdán solo presentó incrementos en P2 (126). Con P3 y P4 (86 y 82, respectivamente) se afectó significativamente la formación de frutos, ya que el NV fue menor en comparación cuando no se aplicó fósforo (P1, 100). San Pablo registró el mayor NV con P3 (142). En promedio en San Pablo se encontró el NV más alto con 121, superando en 23 y 19% a Montecillo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadro 10).

El PV en San Pablo se incrementó linealmente por el suministro de P. Así, el PV fue de 316, 347, 463 y 482 g m⁻², para P1, P2, P3 y P4. En Cd. Serdán, el comportamiento fue similar al NV, ya que los valores más altos se encontraron con P1 y P2 (336 y 446 g m⁻², respectivamente) y los que más bajos se registraron en P3 y P4 (288 y 289 g m⁻²). Montecillo mostró el mayor PV con P3, siendo de 319 g m⁻². El PV en promedio fue mayor en San Pablo, seguido de Cd. Serdán y Montecillo (Cuadro 10). El PSV se ajusta mediante un modelo lineal ($R^2=0.98$) con el NV (Figura 50A).

3.2.7.2. Número de semillas (NS) y tasa de crecimiento de semilla (TCS)

En Cd. Serdán fue la única localidad donde se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el número de semillas m⁻² (NS) por los tratamientos evaluados. Sin embargo, en la tasa de crecimiento de semilla (TCS) fueron significativas en las tres localidades. En Cd. Serdán el NS más alto se registró en P2 con 294 debido a la mayor TCS (3.24 g m⁻² día⁻¹). P3 y P4 (166 y 190, respectivamente), afectaron el NS al presentar 32 y 23% menos que el tratamiento testigo (246). La TCS en los tratamientos anteriores fue la más baja con 2.08 y 2.14 g m⁻² día⁻¹ para P3 y P4, respectivamente (Cuadro 10). En la Figura 50B se observa la alta dependencia de la TCS sobre el NS ($R^2 = 0.96$). El mayor NS y TCS en P2, se debe a que el P interviene en diferentes procesos metabólicos como la conversión de azúcares en almidón y celulosa, resultando en un mayor NS. Sin embargo, dosis altas pueden no ser aprovechables por la planta e incluso disminuir el rendimiento y componentes (Morales *et al*, 2002) debido al antagonismo que puede presentar el P con otros elementos, por ejemplo con el Fe. En Montecillo y San Pablo con P3 y P4 se mostró la TCS más alta con 3.32 y 3.24 g m⁻² día⁻¹ y por lo tanto el NS en estos tratamientos fue mayor a los restantes, siendo de 227 y 425, respectivamente (Cuadro 10).

3.2.7.3. Peso de cincuenta semillas (PCS) y tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS)

Para el peso de cincuenta semillas (PCS) y la tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS) solo se encontraron diferencias significativas en Cd. Serdán. Así el mayor peso de semilla con 65 g se mostró en P3 superando en 25, 17 y 11% a P1, P2 y P4, respectivamente. El mayor y menor PCS que se presentó en los tratamientos correspondientes, se asoció con la TCIS, que fue de 12.7 y 9.9 mg semilla⁻¹ día⁻¹, para P1 y P3, respectivamente (Cuadro 10). Westgate y Thomson (1989), señalan que el tamaño final de la semilla es producto de la translocación de fotosintatos y el tiempo de crecimiento de semilla. Así las plantas con P incrementan la absorción de N mejorando el suministro de asimilados a la semilla e incrementando el peso de semilla (Azam, 2002). Usualmente la TCIS se correlaciona positivamente con el tamaño de semilla, como se observa en la Figura 50C. Sin embargo hay una fuerte dependencia del genotipo. Agung y McDonald (1998) encontraron una TCIS de 10.3, 19.9 y 21.7 mg semilla⁻¹ día⁻¹, en promedio para genotipos de haba con semilla pequeña, mediana y grande, respectivamente. Montecillo y San Pablo registraron un PCS que osciló entre 50 a 60 g y 40 a 50 g, respectivamente. El mayor PCS en Montecillo se asoció con la TCIS en promedio más alta (13.7 mg semilla⁻¹ día⁻¹) en comparación con San Pablo (11.9 mg semilla⁻¹ día⁻¹) (Cuadro 10). En promedio San Pablo presentó el mayor NS pero el PCS más bajo y Montecillo el menor NS pero un PCS alto (Cuadro 10). En la Figura 22D se confirma lo anterior, ya que a un menor peso de semilla se incrementa el NS y viceversa ($R^2=0.61$).

3.2.7.4. Número de semillas por vaina (NSV)

El número de semillas por vaina (NSV) no mostró diferencias estadísticas. Sin embargo, en Montecillo el NSV más alto (2.45) correspondió al testigo, mientras que el más bajo a P3. En esta localidad se puede observar probablemente alguna influencia del NV sobre el NSV, ya que tratamientos con el mayor NV presentan el menor NSV (Cuadro 10). En San Pablo ocurrió lo contrario, ya que el mayor NSV se registró en las dosis altas de P, sobresaliendo P3 con 2.4. Cd. Serdán presentó un comportamiento

irregular entre tratamientos. Sin embargo, el mayor NSV se presentó en P2 (2.4), que también mostró el NV más alto.

3.2.8. Índices de translocación en grano seco

3.2.8.1. Índice reproductivo (IR), intensidad de partición (IP) e índice de cosecha (IC)

Para Montecillo y San Pablo no se presentaron diferencias significativas en el índice reproductivo (IR). Sin embargo, en Montecillo el valor de IR más alto y bajo se mostró con P3 y P4, respectivamente (0.68 y 0.48 semillas g^{-1}), mientras que en San Pablo correspondió a P4 y P1 (0.86 y 0.62 semillas g^{-1} , respectivamente). Cd. Serdán única región con diferencias significativas mostró el IR más alto al suministrar P2, seguida del tratamiento testigo (P1) con 0.73 y 0.58 semillas g^{-1} , respectivamente. Dosis de P3 y P4 afectan negativamente la expresión de IR (Cuadro 10).

La intensidad de partición (IP) se afectó significativamente en Montecillo y Cd. Serdán, siendo P3 y P2 donde se registraron los valores más altos con 0.97 y 0.85, respectivamente. En San Pablo aunque no se presentaron diferencias estadísticas, el IP más alto se presentó con P4; mientras que el menor correspondió a el tratamiento testigo (P1) (0.91 y 0.80, respectivamente).

El índice de cosecha (IC) osciló entre 35 y 39% en las localidades estudiadas, con una mayor acumulación de MS en semilla en Cd. Serdán y un promedio de 39%. Así mismo, el P estimuló una mayor distribución de materia seca en semilla encontrando los valores más altos en P3, P4 y P2 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán con 41, 42 y 44%, respectivamente (Cuadro 10).

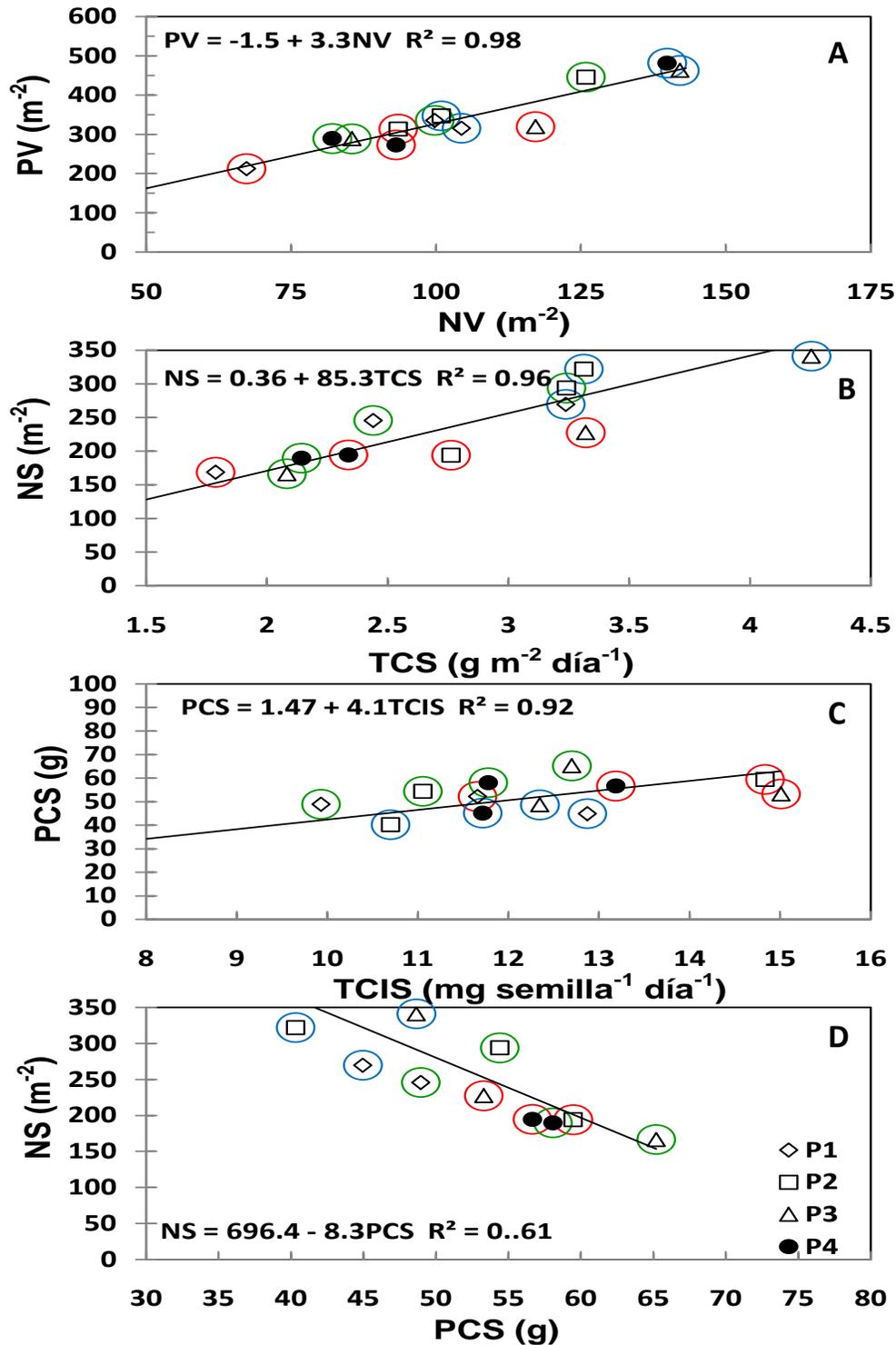


Figura 50. Relación entre: número de vainas (NV) y peso de vaina (PV) (A), peso de cincuenta semillas (PCS) y número de semillas (NS) (B), tasa de crecimiento de semilla (TCS) y NS (C) y tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS) y PCS (D). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

3.2.9. Rendimiento de grano seco (RGS)

El rendimiento de grano seco (RGS) presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) por efecto del P (Cuadro 9). En Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán el promedio de RGS fue de 206, 296 y 245 g m⁻², respectivamente (Cuadro 10). En Montecillo, el RGS más alto (234 g m⁻²) se registró con P3, superando en 15 y 14% a P2 y P4, respectivamente y en 26% al testigo (P1), que presentó el valor más bajo (169 g m⁻²). El mayor rendimiento de P3 se atribuye al incremento de vainas y semillas por m², provocado por una mayor translocación de fotoasimilados que provienen de la fijación de CO₂. Una mayor superficie foliar (AF e IAF) presenta una mayor RI y favorece la fotosíntesis. Así el tratamiento de P3 alcanzó durante el ciclo de cultivo el 100% de RI con un AF e IF de 18730 cm² y 7.1, respectivamente. Lo anterior, se refleja en la mejor partición de fotoasimilados hacia los granos como se observa en el IC más alto que se generó en este tratamiento en comparación con los restantes (Cuadro 10). Así, el incremento fue de 2.57 g m⁻² por kg de P aplicado (Figura 51A).

En San Pablo, el RGS en función del suministro de P, se puede representar mediante una ecuación lineal ($R^2=0.95$). El incremento de semilla por kg de P ha⁻¹ fue de 1.47 g m⁻². Así, P1, P2, P3 y P4 presentaron un RGS de 228, 256, 336 y 365 g m⁻². El mayor rendimiento de las dosis altas, se asocian al mayor IAF y RI que presentaron estos tratamientos a los 127dds (Cuadro 9 Apéndice), generando un incremento en el NS, PCS, NV, NSV e IC (Cuadro 10), así como la AMSTO (Cuadro 9).

Cd. Serdán fue la localidad con menor respuesta a la fertilización fosfatada, ya que solo se presentaron incrementos hasta los P2, incluso dosis superiores a 66 kg P ha⁻¹ disminuyen aproximadamente en 13% en RGS en comparación con el tratamiento testigo (P1). El mayor RGS fue de 319 g m⁻² superando a P1 con 78 g m⁻². El NV, NS, NSV, MST e IC influyeron en el RGS debido a una mayor RI provocada por el incremento en la cobertura y duración foliar (AF, IAF y DAF) (Cuadro 10 Apéndice). El incremento por kg de P, fue menor que Montecillo y San Pablo siendo de 1.28 g m⁻².

En promedio se observa un mayor RGS en San Pablo con 259 g m^{-2} superando a Montecillo (206 g m^{-2}) y Cd. Serdán (245 g m^{-2}) en 30 y 17%, respectivamente (línea punteada de la Figura 51A, B y C). Cuanto mayor es la estructura foliar mayor es el potencial de rendimiento. Sin embargo, si comparamos el RGS en Montecillo y San Pablo no sucedió lo anterior. Este comportamiento se debe posiblemente a que en las hojas inferiores no se recibe la suficiente luz y se incrementa la respiración reduciendo el rendimiento. Este comportamiento se puede observar en la Figura 52A, donde IAF altos disminuyen el rendimiento ($R^2=0.90$). Mediante la ecuación de regresión se observa el IAF óptimo para el máximo rendimiento (296 g m^{-2}) es de 4.5. Valores de IAF óptimo entre 4 y 5 reportan Garner *et al.* (1985) y Dantuma y Thompson (1993). Así mismo, existe una relación polinomial entre el RGS y la DAFT ($R^2=0.87$) teniendo los máximos rendimientos cercanos a 300 g m^{-2} , con una DAFT entre 250 y 290 días. Una DAFT superior a 300 días afecta el rendimiento. Mínguez *et al.* (1993) encontraron una DAF óptima para el máximo rendimiento entre 150 y 300 días. Con la RI la relación fue lineal ($R^2=0.88$).

De los componentes de rendimiento, los que más influyeron en el RGS fueron el NS ($R^2=0.97$) y MSTO ($R^2=0.99$). Así, el incremento en el rendimiento (g m^{-2}) por materia seca producida (g m^{-2}) fue de 0.38 g , cercano al reportado por Mínguez *et al.* (1993) (0.59 kg ha^{-1} por kg ha^{-1} de materia seca). En menor grado se relacionaron el PCS ($R^2=0.83$) y NSV ($R^2=0.92$).

La TCS, IR, IP, IC presentaron una relación alta con el RGS ($R^2=0.97$, 0.96 y 0.94 , 0.95 , respectivamente), mientras que la TCIS se ajusta a un modelo polinomial cuadrático ($R^2=0.91$), es decir una mayor acumulación de materia seca en la semilla afectara el NS y por tanto el RGS (Figura 54A, B, C, D y E).

Cuadro 10. Componentes de rendimiento e índices de translocación en haba con suministro de fósforo. Primavera 2007.

Tratamiento	NV (m ²)	PV (g m ⁻²)	NS (m ²)	PCS (g)	NSV	TCS (g m ⁻² día ⁻¹)	TCIS (mg semilla ⁻¹ día ⁻¹)	IR (semillas g ⁻¹)	IP	IC (%)
Montecillo										
P1	67 b ^z	213 a	169 a	52.2 a	2.45 a	1.79 b	11.66 a	0.51 a	0.63 b	31.9 b
P2	94 ab	314 a	194 a	59.5 a	2.10 a	2.76 ab	14.83 a	0.53 a	0.78 b	35.5 ab
P3	117 a	319 a	227 a	53.3 a	1.95 a	3.32 a	15.01 a	0.68 a	0.97 a	41.1 a
P4	93 ab	273 a	195 a	56.7 a	2.05 a	2.34 ab	13.19 a	0.48 a	0.65 b	33.0 ab
Promedio	93	280	196	55.4	2.14	2.55	13.67	0.55	0.76	35.4
DSH_{0.05}	36.2	156	73.1	21.3	0.68	1.21	3.8	0.21	0.18	9.0
San Pablo										
P1	104 a	316 c	270 a	45 a	1.95 a	3.24 b	12.87 a	0.62 a	0.80 a	34.1 a
P2	101 a	347 bc	322 a	40.3 a	2.15 a	3.31 b	10.70 a	0.80 a	0.83 a	37.2 a
P3	142 a	463 ab	341 a	48.7 a	2.40 a	4.26 ab	12.35 a	0.65 a	0.82 a	38.5 a
P4	140 a	482 a	425 a	45.2 a	2.35 a	4.62 a	11.72 a	0.86 a	0.91 a	41.8 a
Promedio	122	402	339	44.8	2.21	3.86	11.91	0.73	0.84	37.9
DSH_{0.05}	49.9	124.9	170.2	16.2	0.65	1.19	5.47	0.48	0.22	12.0
Cd. Serdán										
P1	100 ab	336 b	246 ab	49.0 c	2.29 a	2.44 ab	9.93 c	0.58 ab	0.70 b	36.0 b
P2	126 a	446 a	294 a	54.4 bc	2.40 a	3.24 a	11.06 bc	0.73 a	0.85 a	43.8 a
P3	86 ab	288 b	167 c	65.2 a	1.93 a	2.08 b	12.7 a	0.50 b	0.75 ab	39.2 ab
P4	82 b	289 b	190 bc	58.1 ab	2.27 a	2.14 b	11.78 ab	0.52 b	0.70 b	36.2 b
Promedio	98	340	224	56.7	2.22	2.48	11.37	0.58	0.75	38.8
DSH_{0.05}	40.4	106.3	73.7	7.9	0.55	0.88	1.4	0.18	0.14	6.0

NV: número de vainas, PV: peso de vainas, NS: número de semillas, PCS: peso de cincuenta semillas, NSV: número de semillas por vaina, TCS: tasa de crecimiento de semilla, TCIS: tasa de crecimiento individual de semilla, IR: índice reproductivo, IP: índice de partición, IC: índice de cosecha y RGS: rendimiento de grano seco. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹. ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %.

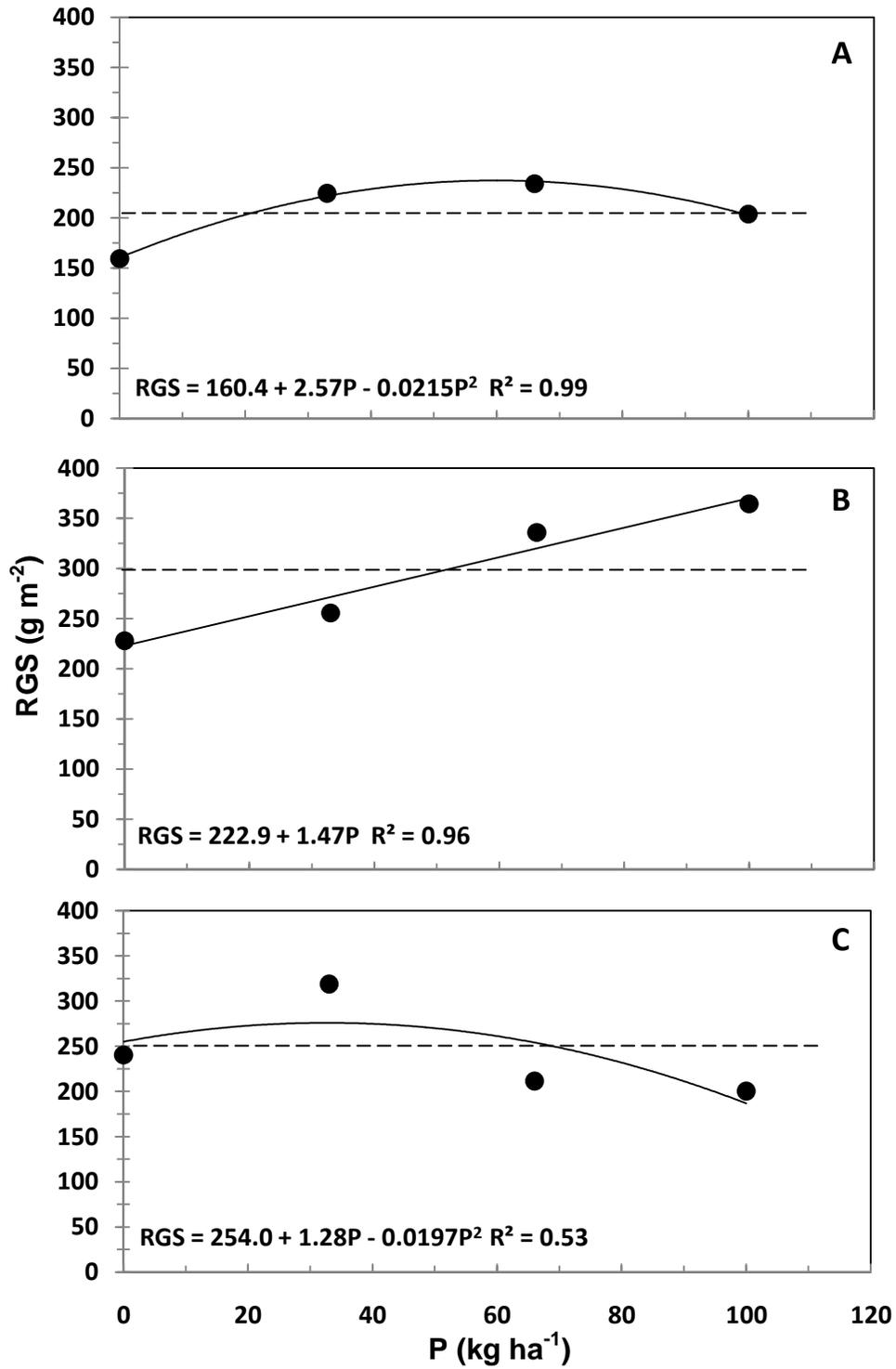


Figura 51. Rendimiento de grano seco (RGS) en haba con suministro de fósforo (P) sembrada en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007.

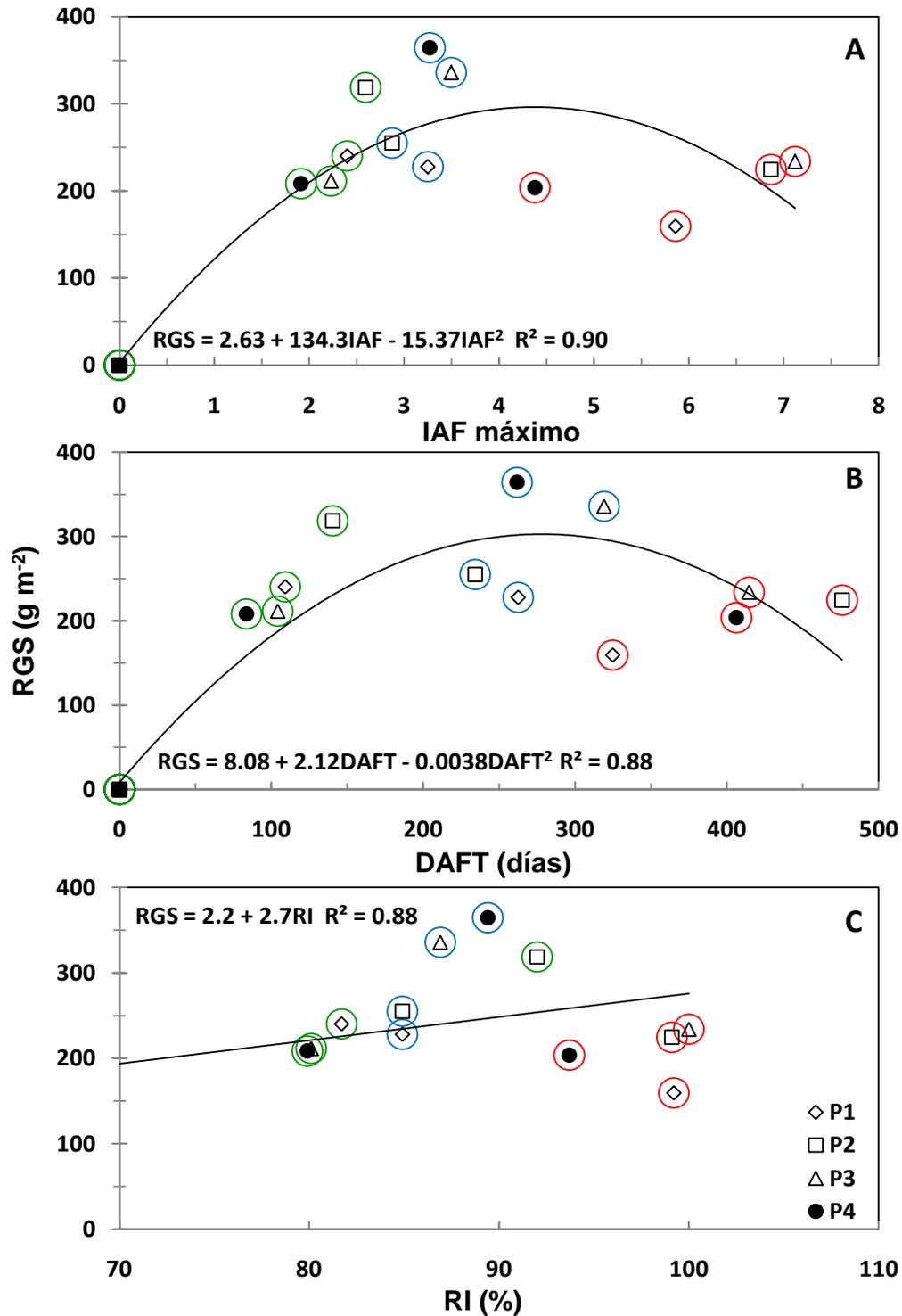


Figura 52. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: índice de área foliar (IAF) máximo (A), duración del área foliar total (DAFT) (B) y radiación interceptada máxima (RI) (C). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

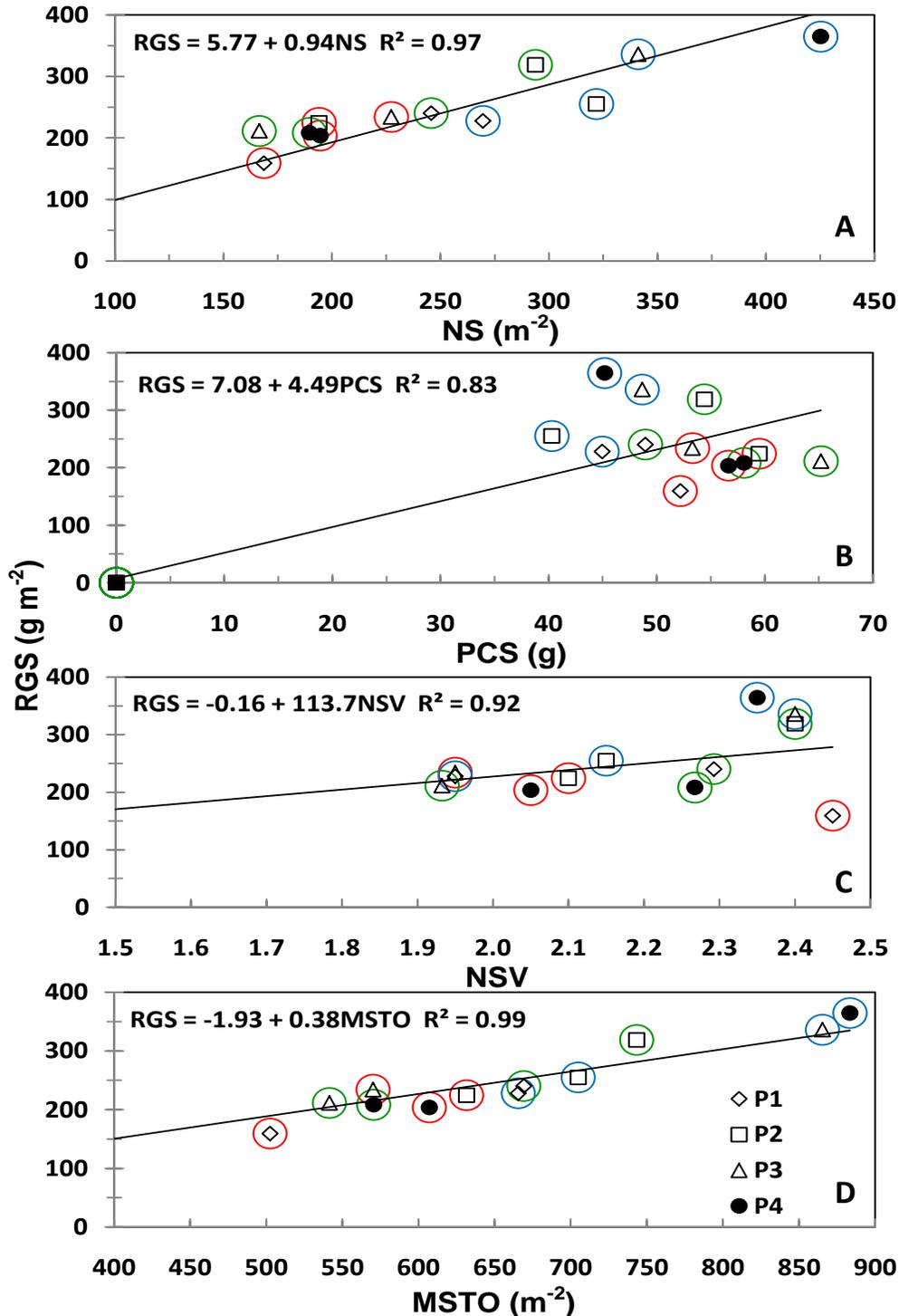


Figura 53. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: número de semillas (NS) (A), peso de cincuenta semillas (PCS) (B), número de semillas por vaina (NSV) (C) y materia seca total (MSTO) (D). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

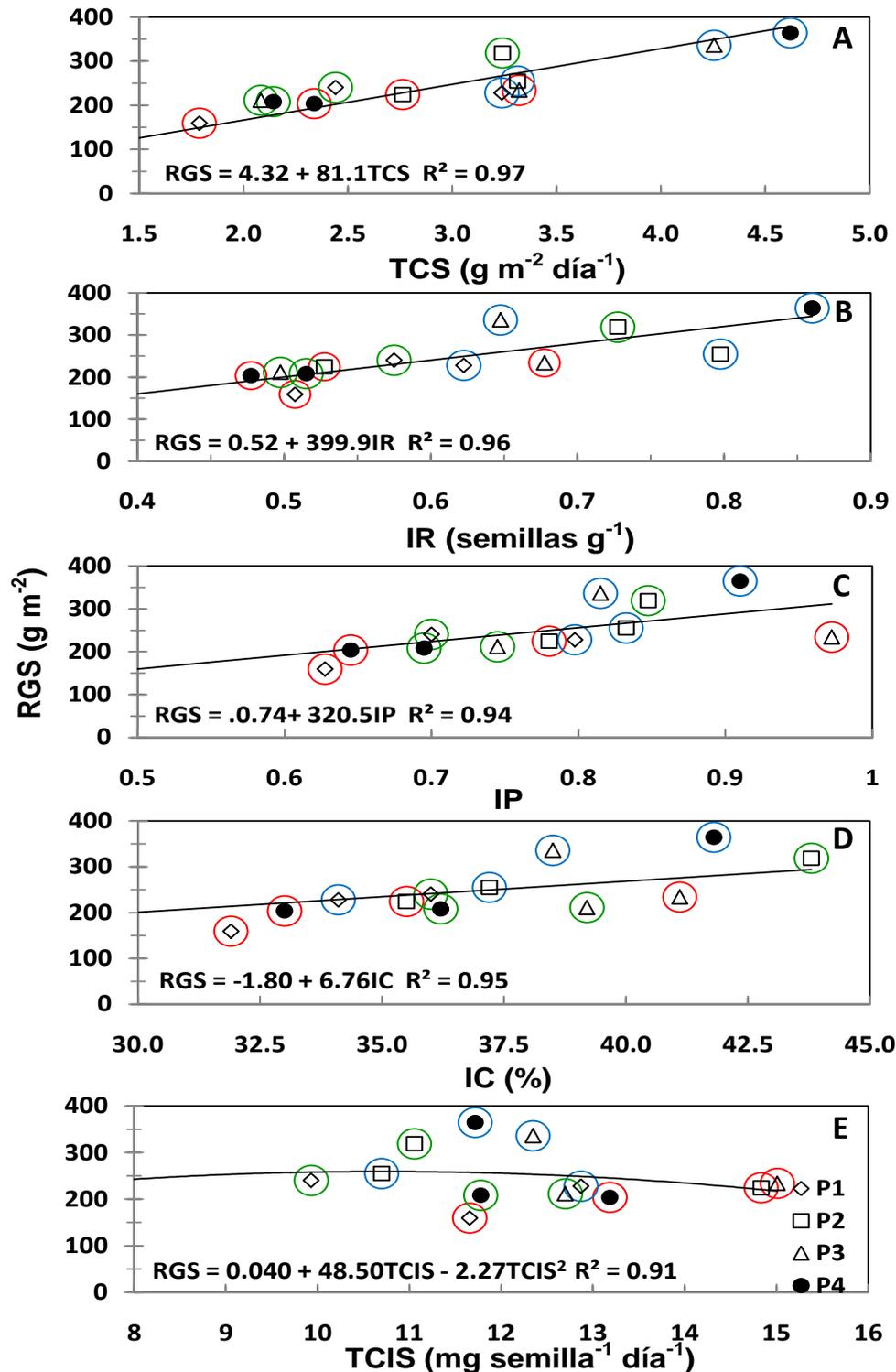


Figura 54. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: tasa de crecimiento de semilla (TCS) (A), índice reproductivo (IR) (B), índice de partición (IP) (C), índice de cosecha (IC) (D) y tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS) (E). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. P1=0, P2=33, P3=66 y P4=100 kg P ha⁻¹.

3.2.10. Máxima eficiencia biológica (MEB) y máxima eficiencia económica (MEE)

Las dosis y rendimiento de grano seco (RGS) estimado para la máxima eficiencia biológica (MEB) y máxima eficiencia económica (MEE) se observan en el Cuadro 11. El mayor rendimiento sin el suministro de P, se mostró en Cd. Serdán con 255 g m⁻² (valor del intercepto de la ecuación). El menor RGS se presentó en Montecillo con 160 kg ha⁻¹. En Montecillo, Pichardo *et al.* (2007) y Guadarrama *et al.* (2007) en ensayos con fertilización encontraron un RGS en el testigo de 126 y 88 g m⁻², respectivamente. Además, en regiones del oriente del Estado de México sin fertilización se encontró un RGS entre 91 y 161 g m⁻².

En Montecillo, la MEB se encontró con 60 kg P ha⁻¹ y una productividad de 240 g m⁻². Diferenciándose de la MEE donde el RGS fue de 234 g m⁻² al incorporar 48 kg P ha⁻¹. Así, el incremento real por kg P ha⁻¹ fue de 1.53 g m⁻². En San Pablo se encontró una mayor respuesta a la fertilización con P, ya que la MEB y MEE se encontró con 100 kg P ha⁻¹ alcanzando un rendimiento de 370 g m⁻², con un incremento por unidad de P de 1.47 kg m⁻². En Cd. Serdán se observó una respuesta más baja al P (0.90 g m⁻² por kg P) ya que la diferencia entre el testigo y el rendimiento de la MEB fue de 22 g m⁻². Sin embargo el rendimiento logrado fue superior al de Montecillo. Así el rendimiento para la MEB y MEE fue de 276 y 273 g m⁻², respectivamente. Tornero *et al.* (1993) recomiendan una dosis óptima económica de 40 kg P ha⁻¹.

Cuadro 11. Ecuaciones de productividad, coeficientes de determinación, máxima eficiencia biológica (MEB) y máxima eficiencia económica (MEE) en haba con suministro de fósforo (P). Primavera 2007.

	Montecillo	San Pablo	Cd. Serdán
Ecuación de productividad	RG = 160.4 + 2.57P - 0.022P ²	RG = 222.9 + 1.47P	RG = 254.8 + 1.28P - 0.0197P ²
Coeficiente de determinación	R ² = 0.99	R ² = 0.96	R ² = 0.53
Dosis MEB	60 kg P ha ⁻¹	100 kg P ha ⁻¹	32 kg P ha ⁻¹
Rendimiento MEB	240 g m ⁻²	370 g m ⁻²	276 g m ⁻²
Dosis MEE	48 kg P ha ⁻¹	100 kg P ha ⁻¹	21 Kg P ha ⁻¹
Rendimiento MEE	234 g m ⁻²	370 g m ⁻²	273 g m ⁻²
[†] Respuesta real granos kg P ⁻¹	1.53 g m ⁻² kg ⁻¹	1.47 g m ⁻² kg ⁻¹	0.90 g m ⁻² kg ⁻¹

[†]Obtenido de respuesta de granos kg P⁻¹ = (Rendimiento MEE – Rendimiento testigo)/Dosis MEE

3.3. Efecto de la densidad de población

3.3.1. Variables morfológicas

3.3.1.1. Altura de planta (AP)

En las densidades estudiadas, la altura de la planta (AP) en las tres localidades se incrementó conforme avanzó la estación de crecimiento, alcanzando su máximo valor a los 156 dds (Figura 55A, B y C). Guadarrama (2002), reporta la mayor AP a los 150 dds. Cd. Serdán a los 127 dds presentó la mayor AP promedio con 145 cm, seguido de San Pablo y Montecillo. La mayor AP se debió a una mayor tasa de crecimiento que se presentó durante el periodo 87–127 dds, siendo de 0.7, 1.3 y 2.5 cm día⁻¹, para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente.

En Montecillo se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre densidades solo hasta los 156 dds observándose la mayor altura con D2 y D4 ambas con 167 cm superando a la densidad más bajas (D1) en 12% (Cuadro 17 Apéndice). En San Pablo aunque la AP mostró diferencias solo a los 87 dds, la D1 y D4 durante el ciclo de cultivo registraron la mayor AP en comparación con los tratamientos restantes. Así a los 156 dds fue de 160, 145, 156 y 160 cm para D1, D2, D3 y D4, respectivamente (Cuadro 16 Apéndice). En Cd. Serdán a los 127 dds la mayor AP se mostró con densidades altas, para D3 y D4 fue de 159 y 160, respectivamente (Cuadro 17 Apéndice). Resultados similares fueron reportados por Thalji (2006) y Sharaan *et al* (2004), en donde densidades foliares altas provocadas por el mayor número de plantas por superficie, inducen una alta competencia por luz, que estimulan el desarrollo vertical del tallo.

El incremento de la AP a través del ciclo de cultivo se relacionó con el número de nudos (NN) ($R^2=0.94$). Sin embargo, entre tratamientos el NN no influyó en la AP (Figura 56A). La longitud del entrenudos (LE) durante el desarrollo no se relacionó con la AP, ya que su coeficiente de determinación es menor a 30% ($R^2=0.30$). En la Figura 56B, además se observa que la mayor LE corresponde a la D4. Loss *et al.* (1998b), encontraron que una mayor AP no se asoció con el mayor NN por tallo, sin embargo, sí fue con la mayor separación nodular.

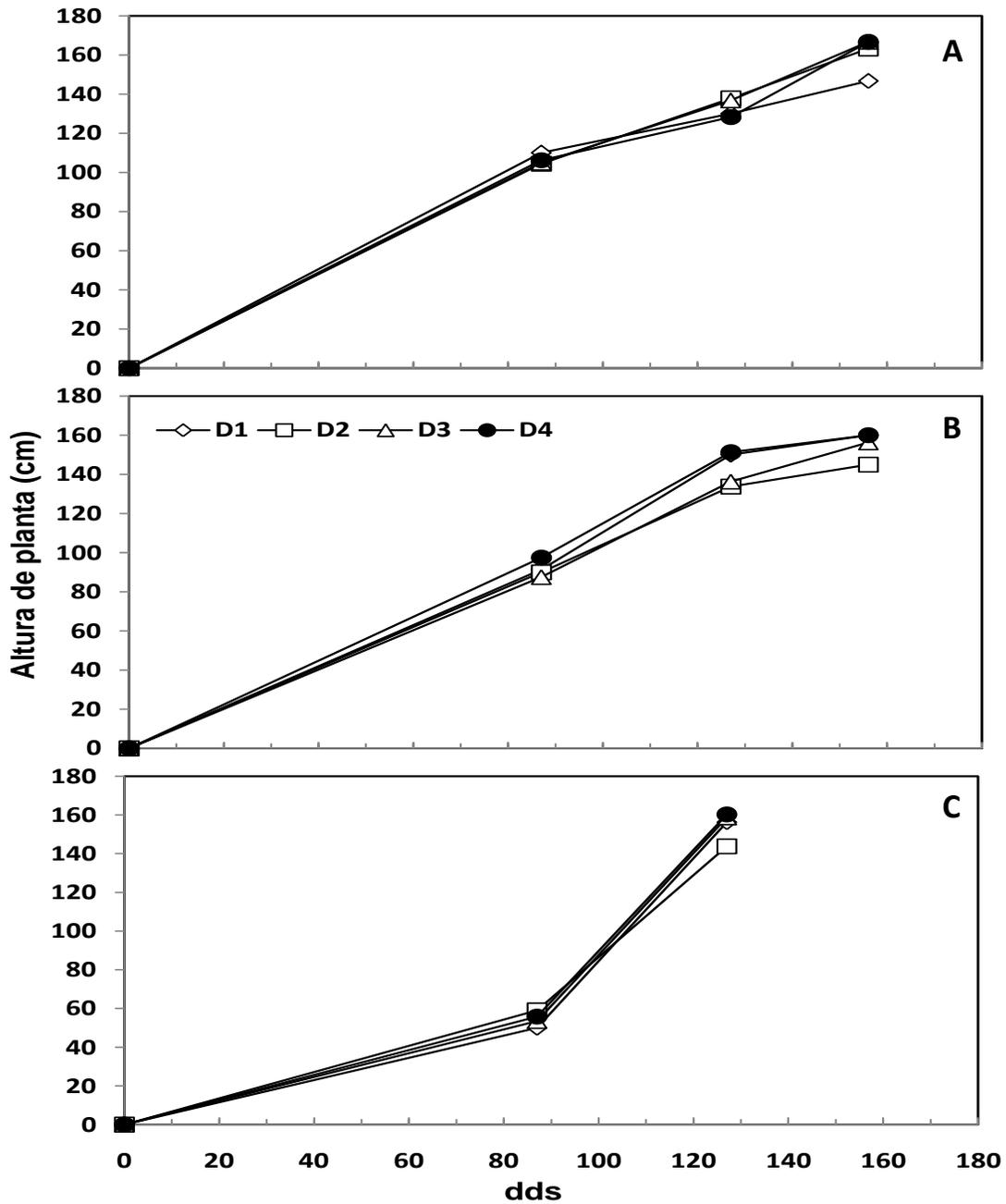


Figura 55. Dinámica de la altura de la planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

3.3.1.2. Número de nudos por planta y m²

El número de nudos por planta (NNpl) disminuyó por efecto de la DP, alcanzando su valor máximo a los 156 dds. Guadarrama (2002) y Pichardo (2005) encontraron el mayor NN entre los 112 y 150 dds. Montecillo presentó el mayor NN con 177,

superando a San Pablo en 28%. Cd. Serdán a los 127 dds presentó un NN de 65 menor a las localidades antes mencionadas (Cuadro 15, 16 y 17 Apéndice). Los cambios en el NNpl en Montecillo fueron no significativos durante el desarrollo, sin embargo cuando se alcanza en máximo NNpl la distancia entre plantas afectó este carácter, así a medida que se incrementó la DP el NNpl fue menor siendo de 190, 183, 179 y 155 para D1, D2, D3 y D4, respectivamente (Figura 56A). En San Pablo se encontró el mayor NNpl en las D2 y D3 con 139 y 150, respectivamente, el menor NNpl fue en la D4 (88) (Figura 56B). Cd. Serdán aunque no existieron diferencias significativas a los 127 dds el NNpl fue más alto en D3 (70) y al igual que en las localidades restantes se registró el menor NNpl con D4 (58) (Figura 56C).

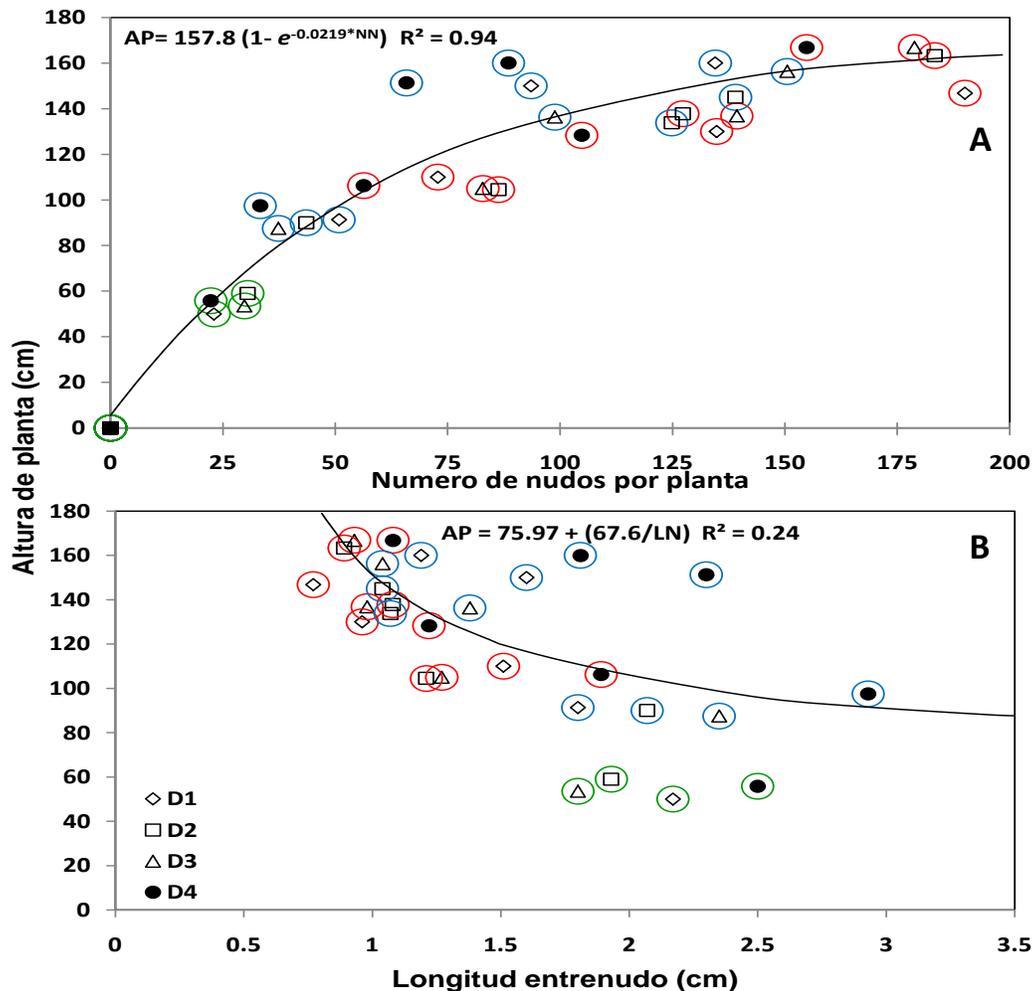


Figura 56. Relación entre la altura de planta (AP) con el número de nudos (NN) (A) y la longitud de entrenudo (LE) (B). Los puntos son datos hasta los 127 dds. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

El menor NNpl en densidades altas se debe al mayor grado de autosombreado entre plantas, así como una restricción en el suministro nutrimental (Loss *et al.* 1998b). Por unidad de superficie el número de nudos (NNm²) fue más alto con D4 en las localidades estudiadas. Así el NN a los 156 dds fue de 1935 y 1106 en Montecillo y San Pablo, respectivamente y a los 127 dds de 722 en Cd. Serdán (Figura 57D, E y F).

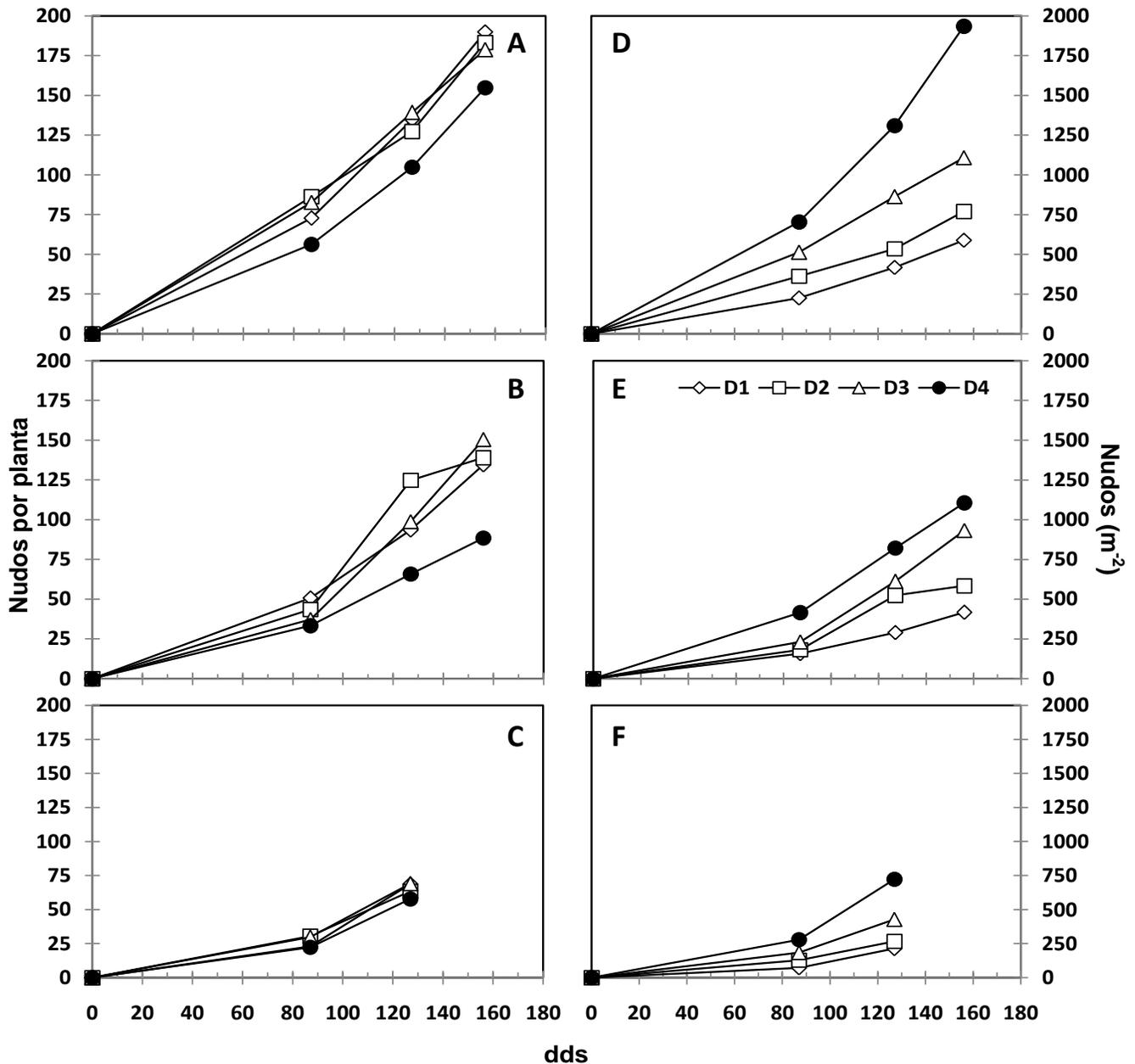


Figura 57. Dinámica del número de nudos por planta y por m² en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A y D), San Pablo (B y E) y Cd. Serdán (C y E). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

3.3.1.3. Número de tallos por planta y m²

En la Figura 58A, B y C, se presenta el número de tallos por planta (NTpl) en las diferentes localidades observando el NTpl más bajo y alto a los 87 y 156 dds. Montecillo presentó el NTpl más alto en comparación con San Pablo y Cd. Serdán, siendo de 4, 5 y 6 para los 87, 127 y 156 dds. Los 4 tallos que se observó en Montecillo a los 87 dds es el número máximo de tallos que se mostró en San Pablo a los 156 dds. En San Pablo se observan 2.4 tallos a los 87 dds que corresponde al NTpl registrado a los 127 dds en Cd. Serdán.

La DP mostró un claro efecto en el NTpl a los 156 dds en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán aunque en estas dos últimas localidades las diferencias no fueron significativas. Así, el NTpl fue menor cuando se incrementó el número de plantas. El NTpl en Montecillo con D1 superó a la D4 por 32% mientras que en San Pablo y Cd. Serdán fue de 15 y 28%, respectivamente (Cuadro 15, 16 y 17 Apéndice). Lo anterior sugiere que densidades altas afectan el crecimiento y desarrollo, debido a la elevada competencia que existe entre las plantas por recursos (Loos *et al.*, 1998ab). El haba está gobernada por un número de factores compensatorios. Algunos de ellos son fijados en el periodo vegetativo, tal es el caso del número de plantas por m² y el número de tallos por planta, los cuales se relacionan inversamente. Coelho y Pinto (1989), encontraron que el haba muestra una gran plasticidad como respuesta a diferentes densidades de población.

Sin embargo, el número de tallos por unidad de superficie (NTm²) fue superior en la D4, siendo de de 55.8, 43.8 y 21.9, en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán a los 156, 156 y 127 dds, respectivamente (Figura 58D, E y F).

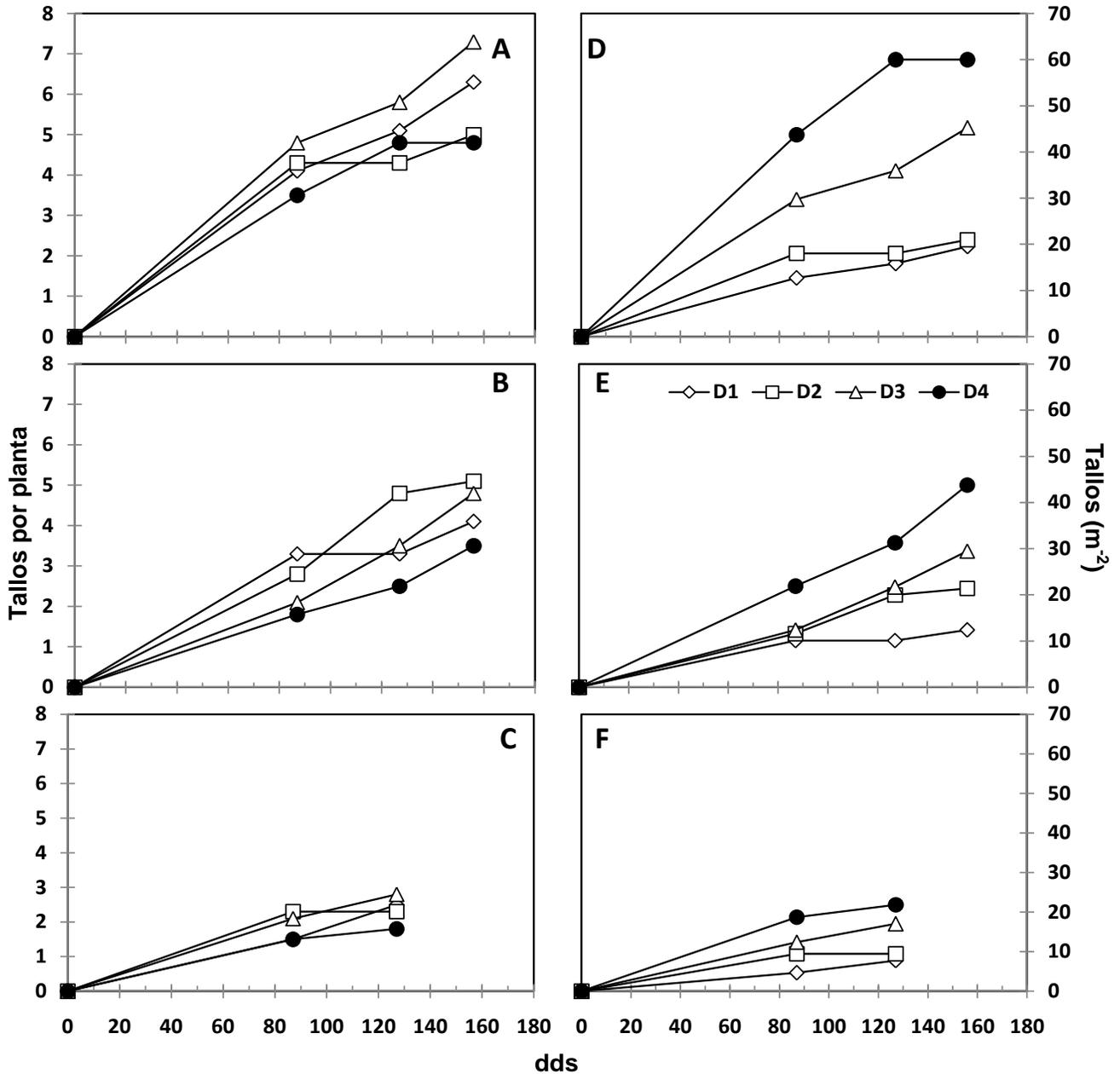


Figura 58. Dinámica del número de tallos por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A y D), San Pablo (B y E) y Cd. Serdán (C y F). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

3.3.1.4. Tasa de aparición foliar (TAF)

La evolución del número de hojas a través del tiempo en todos los tratamientos y localidades se muestra en la Figura 59A, B y C. La pendiente de las ecuaciones hasta los 127 dds es la tasa de aparición foliar (TAF), después de esta fecha inicia la

senescencia foliar. Los coeficientes de determinación (R^2) oscilaron entre 0.94 a 0.97, 0.91 a 0.98 y 0.97 a 0.99, en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente.

En promedio Montecillo presentó la mayor TAF con 0.79 hojas día⁻¹, que fue el doble de la TAF registrada en San Pablo (0.40 hojas día⁻¹). Cd. Serdán representó solo el 36% (0.29 hojas día⁻¹) de la TAF registrada en Montecillo. La TAF entre las densidades presentó un comportamiento diferente en función de la localidad. En Montecillo mostró una respuesta positiva solo hasta D3, siendo esta densidad donde se encontró la mayor aparición de hojas por día con 0.87, mientras que D4 presentó la TAF más baja aproximadamente 0.70 hojas día⁻¹ (Figura 59A). San Pablo fue la localidad donde se registró la menor respuesta de la TAF a las densidades evaluadas ya que se incrementó solo hasta D2 (0.54 hojas día⁻¹).

D3 y D4 afectaron significativamente la aparición foliar (0.36 y 0.30 hojas día⁻¹), ya que esta fue menor a la encontrada en D1 (0.39 hojas día⁻¹) (Figura 59B). En Cd. Serdán D1 y D4 presentaron la menor TAF con 0.27 hojas día⁻¹. En D2 y D3 fue de 0.32 y 0.30 hojas día⁻¹, respectivamente (Figura 69C). Los valores más bajos encontrados en D4 posiblemente destinaron mayor parte de los fotoasimilados para la elongación del tallo, disminuyendo la emisión de nuevas hojas, debido a la mayor competencia intra-específica por luz. (Olivera, 2000).

3.3.1.5. Filocrono

El filocrono se estimó hasta los 127 dds y se observa en la Figura 60. En Montecillo y San Pablo el mayor filocrono se observó en D4 con 1.43 y 3.27 días hoja⁻¹, respectivamente. Estos resultados indican la tendencia del filocrono a aumentar con el número de plantas por unidad de superficie, es decir las plantas cultivadas en D4 demoran más tiempo para emitir hojas. Cd. Serdán, en las cuatro densidades superaron los 3 días hoja⁻¹, particularmente en D1 y D4 donde el filocrono fue de 3.70 días hoja⁻¹. El menor tiempo a la aparición de dos hojas consecutivas en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán fue en D3, D2 y D2 con 1.16, 1.87 y 3.11 días, respectivamente (Figura 60).

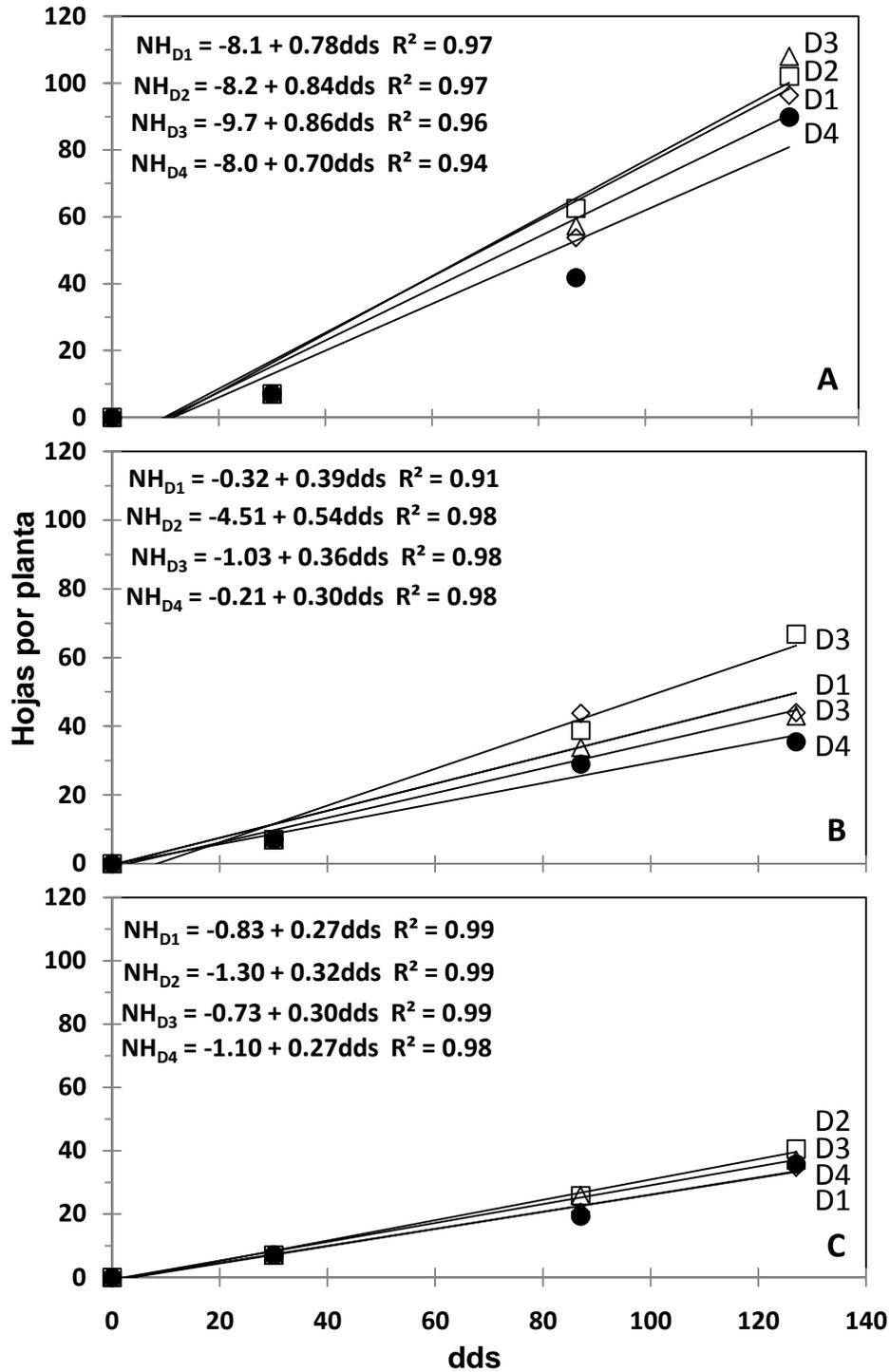


Figura 59. Dinámica del número de hojas por planta en haba sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

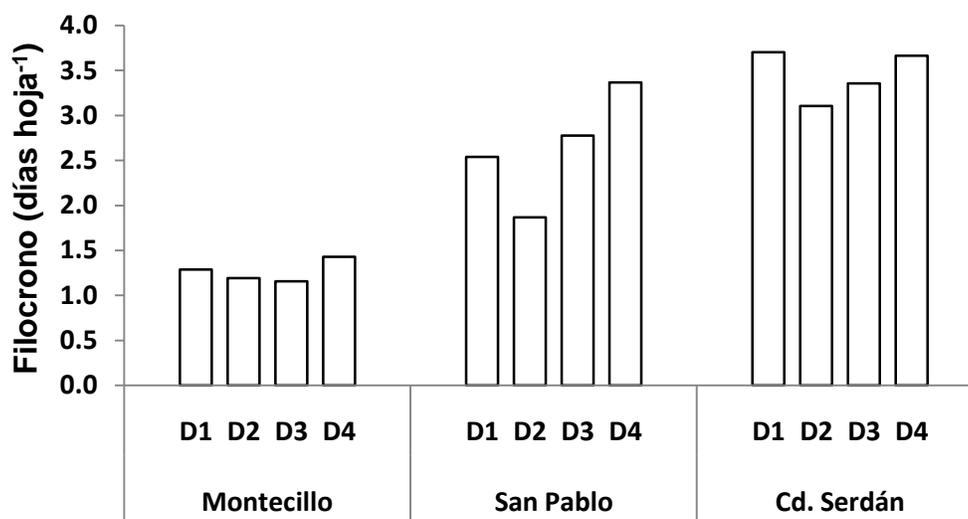


Figura 60. Estimación del filocrono con suministro de fósforo. Primavera 2007. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

3.3.1.6. Número de hojas (NH) y foliolulos (NF) por planta

En el Cuadro 12 se observan las tendencias de mejor ajuste en el NH por planta para las densidades estudiadas. El NH por planta se incrementa en las cuatro densidades a partir de los 10 dds hasta alcanzar su valor máximo a los 127 dds en Montecillo y San Pablo, así el modelo fue polinomial de cuarto grado. Pichardo (2007), reporta en Montecillo el mayor NH en diferentes cultivares de haba a los 90 dds. Los coeficientes de determinación oscilaron entre 0.88 y 0.97. Cd. Serdán presentó un R² entre 0.76 a 0.87 ajustándose hasta los 127 dds mediante una ecuación lineal en D2 y D3 y polinomial de segundo grado para D1 y D4 (Cuadro 12).

Así, el NH por planta mostró cambios significativos a los 127 y 156 dds en Montecillo y San Pablo. Cd. Serdán no presentó cambios por las fechas de muestreo. En Montecillo el NH por planta máximo de hojas fue 96, 102 y 108 para D1, D2 y D3, respectivamente. D4 registró el NH más bajo con solo 90 por planta (Cuadro 15 Apéndice). En San Pablo el NH a los 127 dds fue bajo con respecto a Montecillo con un promedio de 47. El NH más alto se logró en D2 con 67, densidades superiores o inferiores afectan el NH en 34, 64 y 47% para D1, D3 y D4, respectivamente (Cuadro 16 Apéndice). Cd. Serdán al igual que San Pablo presentó el NH más alto con D2 a los

87 y 127 dds. D1 y D4 presentaron los valores más bajos (Cuadro 17 Apéndice). En las tres localidades densidades superiores a D3 afectan significativamente la expresión foliar, debido a la menor tasa de aparición foliar (Figura 59A, B y C) además del menor número de tallos por planta (Figura 58A, B y C).

El máximo NF fue a los 127 dds, posteriormente disminuye hasta la MF debido a la senescencia y abscisión foliar. En promedio Montecillo presentó el mayor NF con 251, 496 y 126 a los 87, 127 y 156 dds, respectivamente, en comparación con San Pablo que registró 195, 233 y 49. En Cd. Serdán el NH fue más bajo con 87 y 215 a los 87 y 127 dds (Cuadro 15, 16 y 17 Apéndice). Aunque, Montecillo presentó un mayor NF a los 127 dds en comparación con San Pablo no se reflejó en un mayor rendimiento. Con respecto a las densidades estudiadas, solo en San Pablo el mayor NH obtenido en D2 presentó el NF más alto con 267. En Montecillo y Cd. Serdán este correspondió a D2 y D1 con 673 y 248, respectivamente. En las localidades estudiadas se observa que D3 y D4 afectaron significativamente el NF. Montecillo en promedio mostró el mayor NH por m^{-2} , seguido de San Pablo y Cd. Serdán. En las tres localidades, D4 presentó el mayor NH m^{-2} . Un comportamiento similar se observó en el NF m^{-2} . La regulación del NH por planta responde ante el aumento o disminución del NN ($R^2=0.92$) (Figura 61).

3.3.1.7. Área foliar (AF) y tasa de expansión foliar (TEF)

Montecillo y San Pablo presentaron el AF por planta más alto en todas las densidades a los 127 dds. Montecillo fue la localidad con la mayor AF promedio, con $13835 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$, superando en 45 y 62% a San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (7530 y $5253 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$). Los cambios en el AF promedio se deben a las diferencias en la TAF promedio que existió entre los ambientes, siendo de 101, 60 y $38 \text{ cm}^2 \text{ día}^{-1}$, en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadro 13). Las densidades evaluadas provocaron diferencias a los 127 y 156 dds en Montecillo (Cuadro 15 Apéndice).

Cuadro 12. Ecuaciones que estiman el número de hojas (NH) en haba con base a los días después de la siembra (DDS) en diferentes densidades de población. Primavera 2007.

Tratamiento	Ecuación	R ²
Montecillo		
D1	NH = -5.45E-12 + 0.7685789 DDS - 0.03281492 DDS ² + 0.00057377 DDS ³ - 2.49E-06 DDS ⁴	0.92
D2	NH = -3.66E-12 + 0.39231301 DDS - 0.01467708 DDS ² + 0.00036565 DDS ³ - 1.77E-06 DDS ⁴	0.97
D3	NH = -5.11E-12 + 0.67326726 DDS - 0.02807451 DDS ² + 0.00051348 DDS ³ - 2.22E-06 DDS ⁴	0.97
D4	NH = -7.03E-12 + 1.163478 DDS - 0.05124851 DDS ² + 7.67E-04 DDS ³ - 3.09E-06 DDS ⁴	0.96
San Pablo		
D1	NH = 1.62E-12 - 0.40838669 DDS + 0.02485603 DDS ² - 2.02E-04 DDS ³ + 4.19E-07 DDS ⁴	0.82
D2	NH = -3.69E-12 + 0.52193926 DDS - 0.02217614 DDS ² + 0.00039692 DDS ³ - 1.75E-06 DDS ⁴	0.88
D3	NH = -6.98E-12 + 0.98930086 DDS - 0.04472999 DDS ² + 0.00074612 DDS ³ - 3.17E-06 DDS ⁴	0.97
D4	NH = -7.37E-13 + 0.10551189 DDS + 0.00061949 DDS ² + 6.01E-05 DDS ³ - 4.27E-07 DDS ⁴	0.80
Cd. Serdán		
D1	NH = -0.40894945 + 0.11567386 DDS + 0.00129348 DDS ²	0.76
D2	NH = -3.2704044 + 0.33332655 DDS	0.79
D3	NH = -2.6142078 + 0.30911791 DDS	0.81
D4	NH = -0.13742836 + 0.07771548 DDS + 0.00162131 DDS ²	0.87

El número de datos (n) para la estimación fue de 20. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

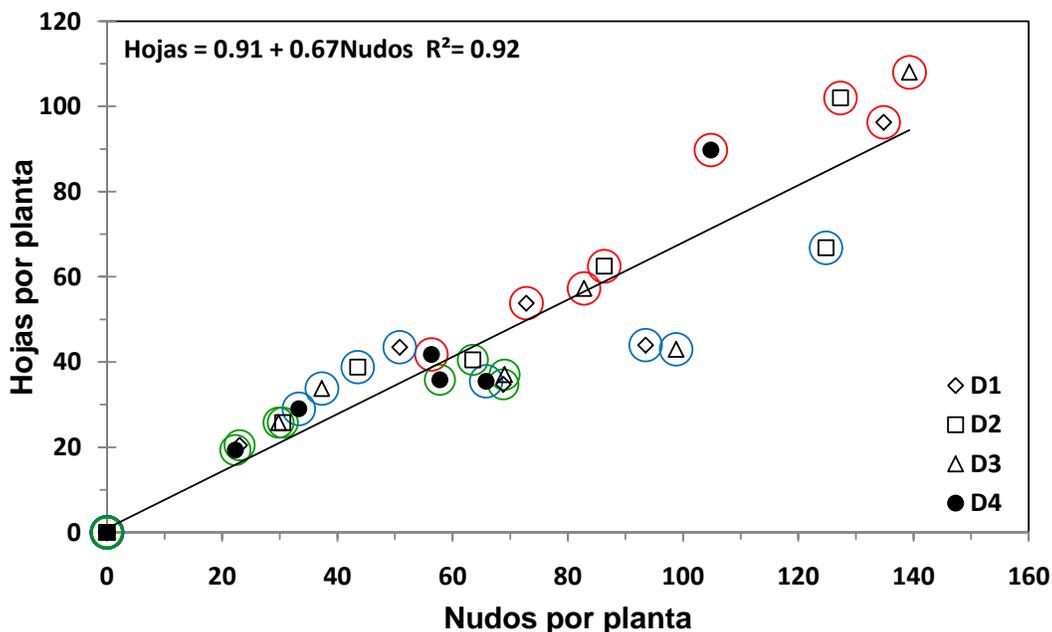


Figura 61. Relación entre el número de hojas con el número de nudos. Los puntos son datos hasta los 127 dds. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

Así, al momento que se presentó la máxima área foliar (MAF), D1 y D2 mostraron la mayor AF con 15040 y 18730 cm² planta⁻¹, respectivamente, debido a la tasa de expansión foliar (TEF) más alta con 111 y 134 cm² día⁻¹ con una duración efectiva de expansión foliar (DEEF) de 136 y 139 días. D4 presentaron la MAF más baja con 7900 cm² planta⁻¹, consecuencia de una disminución en la TEF (63 cm² día⁻¹) y DEEF (126 días) (Cuadro 13). En San Pablo no existieron diferencias entre las densidades a los 87 y 127 dds, estas fueron significativas hasta la senescencia foliar (156 dds) (Cuadro 16 Apéndice). Sin embargo, la MAF se encontró con D2 siendo de 8330 cm² planta⁻¹, debido a cambios en la TEF (68 cm² día⁻¹) y no en la DEEF (122 días). La MAF más baja se encontró en D1, D3 y D4 con 6530, 7880 y 7380 cm² planta⁻¹, respectivamente. Cuando se mostró la MAF en Cd. Serdán no existieron diferencias, no obstante a densidades altas disminuyó el AF y TEF. Así, el AF por planta fue de 6780, 5300, 4530 y 4400 cm² para D1, D2, D3 y D4, respectivamente y una TEF de 48, 39, 33 y 31 cm² día⁻¹ (Cuadro 13). La posible razón de la menor área foliar en densidades altas puede ser a la gran competencia entre plantas, en contraste bajas densidades la competencia inter-planta por luz, agua y nutrimentos es baja, Además de la disminución en el número de tallos y nudos por planta. Poulain *et al.* (1986), encontró una menor área foliar por planta al incrementar la densidad de población.

3.3.1.8. Tasa relativa de senescencia (TRS)

En promedio la tasa relativa de senescencia (TRS) foliar fue mayor en San Pablo con 0.063 y 0.216 cm² cm⁻² día⁻¹, para el primer (127–156) y segundo periodo (156–MF), respectivamente. En Montecillo y San Pablo en general la mayor TRS fue con densidades altas debido a la mayor atenuación de la radiación y a la menor relación rojo/rojo lejano que llega a los estratos inferiores del dosel vegetal (Vega y Andrade, 2000). D2 provocó la menor TRS con 0.054 y 0.056 cm cm⁻² día⁻¹ en Montecillo y San Pablo, respectivamente (Cuadro 13).

Cuadro 13. Tasa de expansión foliar (TEF), máxima área foliar (MAF), duración efectiva de expansión foliar (DEEF) y tasa relativa de senescencia (TRS) en haba con diferentes densidades de población. Primavera 2007.

Tratamiento	TEF (cm día ⁻¹)	MAF (cm ²)	DEEF (días)	TRS ₁₂₇₋₁₅₆ (cm ² cm ⁻² día ⁻¹)	TRS _{156-MF} (cm ² cm ⁻² día ⁻¹)
Montecillo					
D1	110.7	15040.0	136.0	0.058	0.182
D2	134.5	18730.0	139.0	0.054	0.182
D3	97.0	13670.0	140.0	0.061	0.182
D4	62.6	7900.0	126.0	0.057	0.182
Promedio	101.2	13835.0	134.0	0.058	0.182
San Pablo					
D1	52.9	6530.0	123.0	0.060	0.250
D2	68.4	8330.2	122.0	0.056	0.182
D3	60.6	7880.0	130.0	0.066	0.250
D4	57.2	7380.0	129.0	0.068	0.182
Promedio	59.8	7530.0	126.0	0.063	0.216
Cd. Serdán					
D1	47.8	6780.0	142.0		
D2	39.0	5300.0	136.0		
D3	33.2	4530.0	136.0		
D4	31.3	4400.0	141.0		
Promedio	37.9	5353.0	139.0		

D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻². MF: madurez fisiológica.

3.3.2. Índice de área foliar (IAF)

Montecillo a los 127 dds presentó en promedio el mayor índice de área foliar (IAF) con 7.5 mientras que en San Pablo y Cd. Serdán fue de 4.9 y 3.2, respectivamente. Las diferencias en el IAF provocadas por cambios en la densidad de población fueron significativas a los 87 y 127 dds en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán (Cuadro 15, 16 y 17 Apéndice). Así, el IAF se incrementó con el aumento en la DP, debido al mayor NH por m² consecuencia de mayor número de plantas por superficie. En las tres localidades los tratamientos registraron una densidad similar, alcanzando su máximo valor a los 127 dds, posteriormente el IAF disminuyó hasta la MF, debido a la senescencia de las hojas. Resultados similares encontraron Coelho y Pinto (1989), al

observar que el IAF máximo se mostró en la floración y se prolongó hasta la aparición de la vaina, mientras que Loss *et al.* (1998b) en diferentes años encontraron el IAF máximo entre los 100 y 128 dds. En la Figura 62A que presenta el IAF de Montecillo se puede observar en D4 el valor más alto con 9.9, superando en 53, 28 y 14% a D1, D2 y D3, respectivamente. En San Pablo se alcanzaron valores similares, siendo de 9.2 para D4, el menor IAF se mostró en la densidad más baja (2.0) (Figura 62B). Cd. Serdán hasta los 127 dds solo alcanzó un IAF máximo de 5.5 con D4, superando por 3.4, 3.3 y 2.7 a D1, D2 y D3 que presentaron un IAF de 2.1, 2.2 y 2.8, respectivamente (Figura 62C). De acuerdo con Poulain *et al.* (1986), el desarrollo del IAF depende principalmente de la temperatura (diurna y nocturna), disponibilidad de agua y densidad de población. Generalmente cuando todas las condiciones son las óptimas el máximo IAF siempre se alcanza con densidades altas. El IAF se relacionó con el NH ($R^2=0.74$) y con el NF ($R^2=0.75$) por m^2 (Figura 63A y B).

3.3.3. Duración del área foliar (DAF)

La duración del área foliar (DAF) aumentó con la densidad y fue significativa a los 87, 127, 156 y total en las tres localidades. En Promedio Montecillo presentó durante el desarrollo del cultivo los valores más altos en la DAF, seguido de San Pablo y Cd. Serdán (Cuadro 15, 16 y 17 Apéndice). Montecillo con D4 presentó una DAF de 305, 338, 156 y 799 días para los 87, 127, 156 y total, respectivamente superando en 72, 61, 53 y 64% a D1 que mostró los valores más bajos (83, 131, 74 y 288, respectivamente) (Cuadro 15 Apéndice). En San Pablo el comportamiento fue igual donde D4 registró una DAFT de 677 días, mientras que D1 solo de 175 días (Cuadro 16 Apéndice). Desde las primeras etapas del cultivo con D4 en Cd. Serdán, se logró la DAF más alta y la más baja se encontró en D1. Por ejemplo la DAFT fue de 187 y 84 días, respectivamente (Cuadro 17 Apéndice). Pilbeam *et al.* (1989), en cultivares de haba encontró una mayor DAF en la etapa reproductiva y total al disminuir el espacio entre surcos. Mínguez *et al.* (1993), encontraron el máximo rendimiento de semilla y biomasa seca con una DAF de 300 y 600 días, respectivamente, concluyendo que la DAF es un importante parámetro, ya que es una medida indirecta de la radiación solar interceptada, además es dependiente del IAF. En la Figura 64 se observa ésta

dependencia ($R^2=0.80$) en donde D4 mostró los valores más altos. El número de foliolulos presentó un comportamiento similar ($R^2=0.69$).

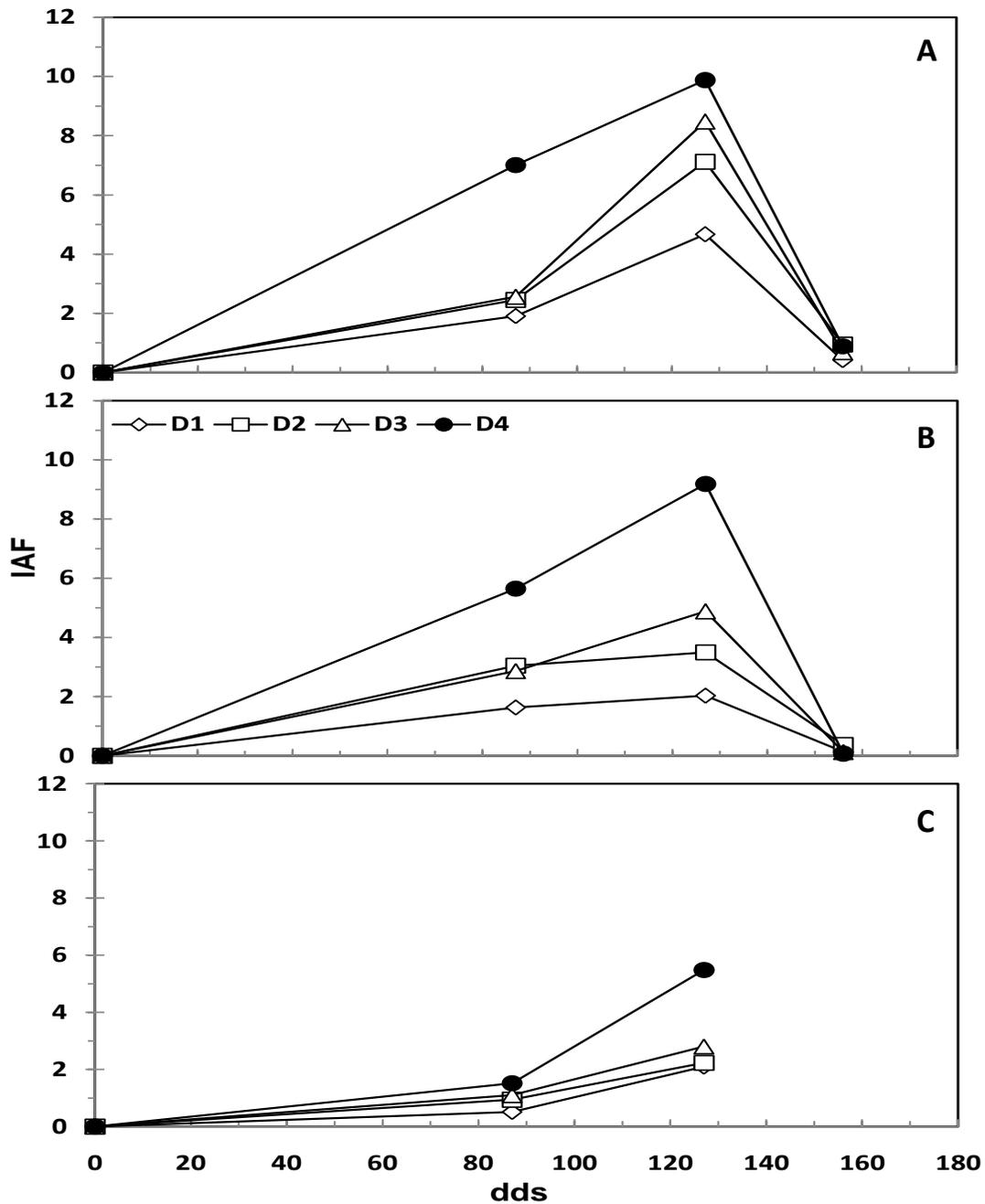


Figura 62. Dinámica del índice de área foliar (IAF) en haba con diferentes densidades bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4=12.5 pl m⁻².

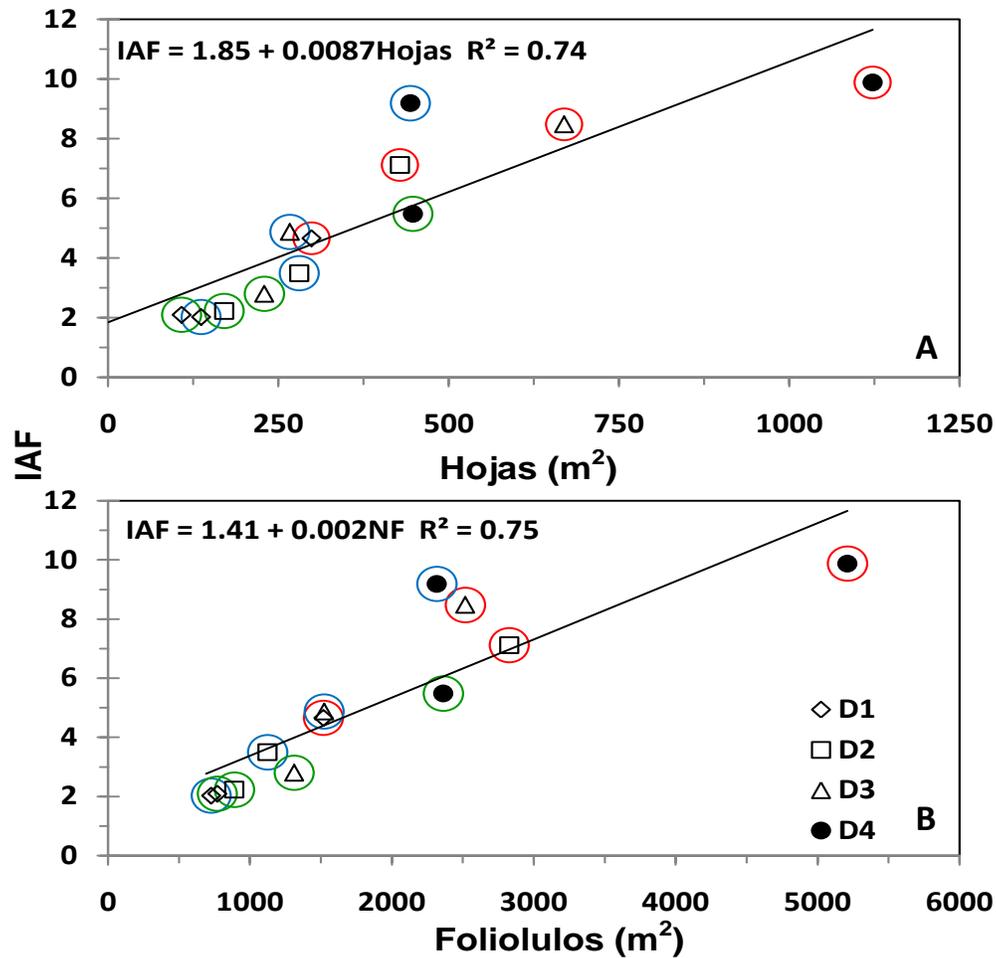
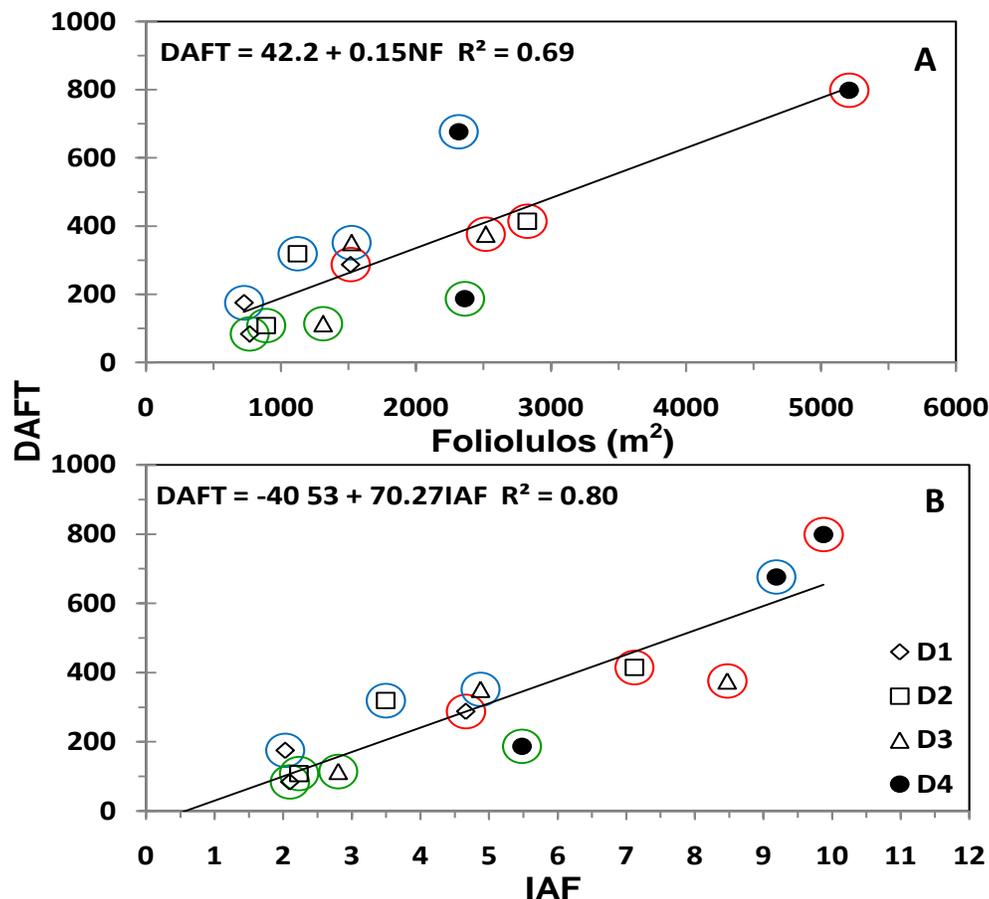


Figura 63. Relación entre el máximo índice de área foliar (IAF) y el máximo número de hojas (A) y máximo número de foliolulos (NF) (B). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

3.3.4. Porcentaje de radiación interceptada (RI)

El porcentaje de RI fue alta desde las primeras etapas del cultivo (86 dds) con 86, 84 y 55% para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán y se mantuvo aproximadamente hasta los 127 dds, que es cuando presenta su valor máximo, en Montecillo y San Pablo fue de 99 y 88%, respectivamente. Cd. Serdán presentó una RI de 84%. Después de esta fecha se presentaron los valores más bajos de RI debido a la reducción del IAF como consecuencia de la senescencia foliar (Figura 65A, B y C).

En lo que se refiere al arreglo espacial el incremento en la densidad de población aumento la RI a los 87 y 127 dds en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. Así, Montecillo a los 127 dds interceptó el 100% de radiación con D2, D3 y D4. Mientras que en San Pablo fue 87, 93 y 99%, respectivamente. Cd. Serdán presentó un 95% de RI con D4 hasta los 127 dds. La RI más baja se registró con D1 en las tres localidades (Figura 65A, B y C). Una de las principales prácticas que alteran la intercepción de radiación por el cultivo es la densidad de población al modificar la estructura foliar y crecimiento vegetativo, densidades altas favorecen una rápida cobertura por el dosel vegetal incrementándose la RI (López *et al.*, 2005, Loss *et al.*, 1998b). En la Figura 66A, B y C se observa la relación que existe entre el AF ($R^2=0.90$), IAF ($R^2=0.96$) y DAFT ($R^2=0.70$), con el porcentaje máximo de RI.



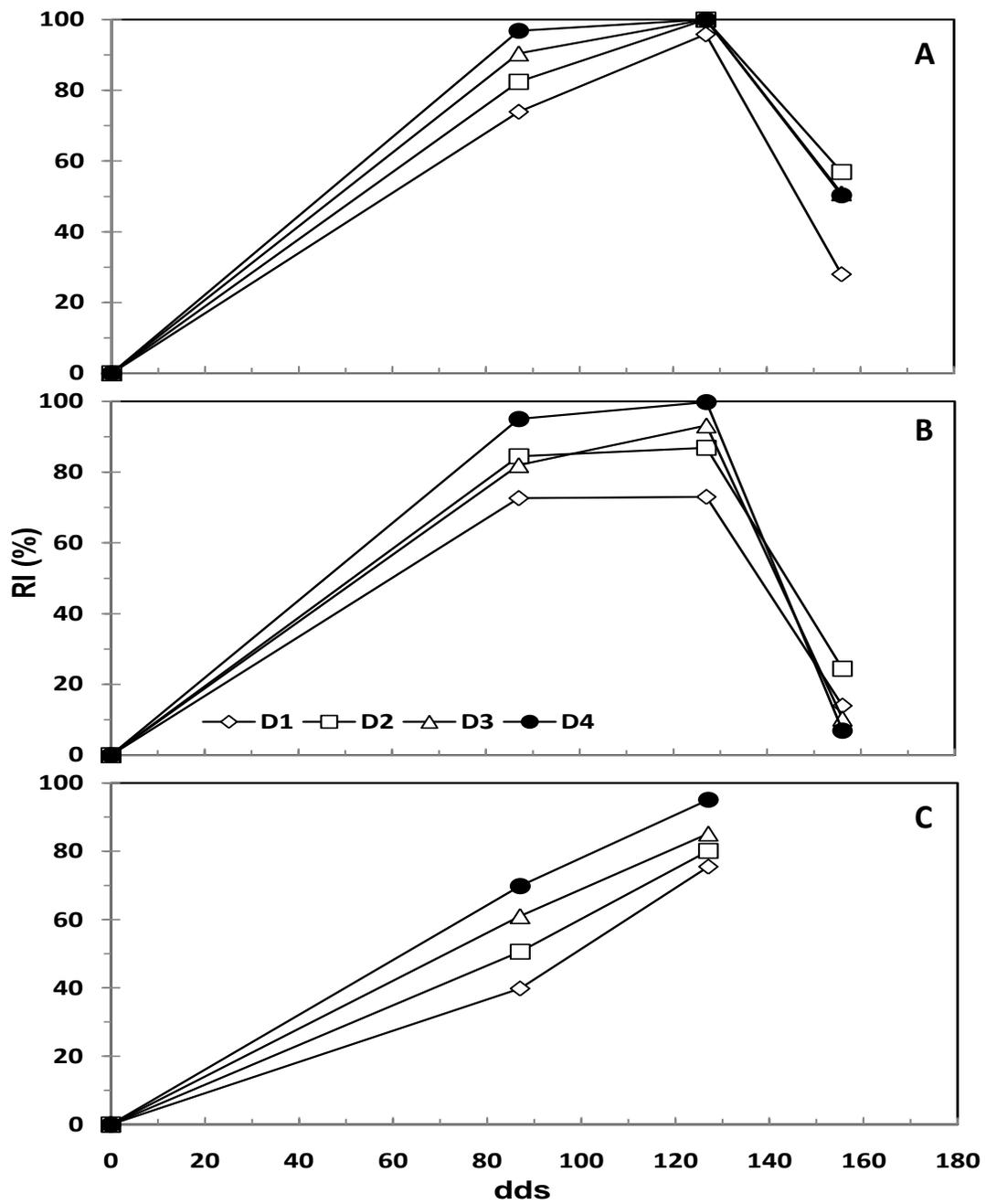


Figura 65. Dinámica del porcentaje de radiación interceptada (RI) en haba con diferentes densidades sembrada bajo condiciones de temporal en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. dds: días después de la siembra. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

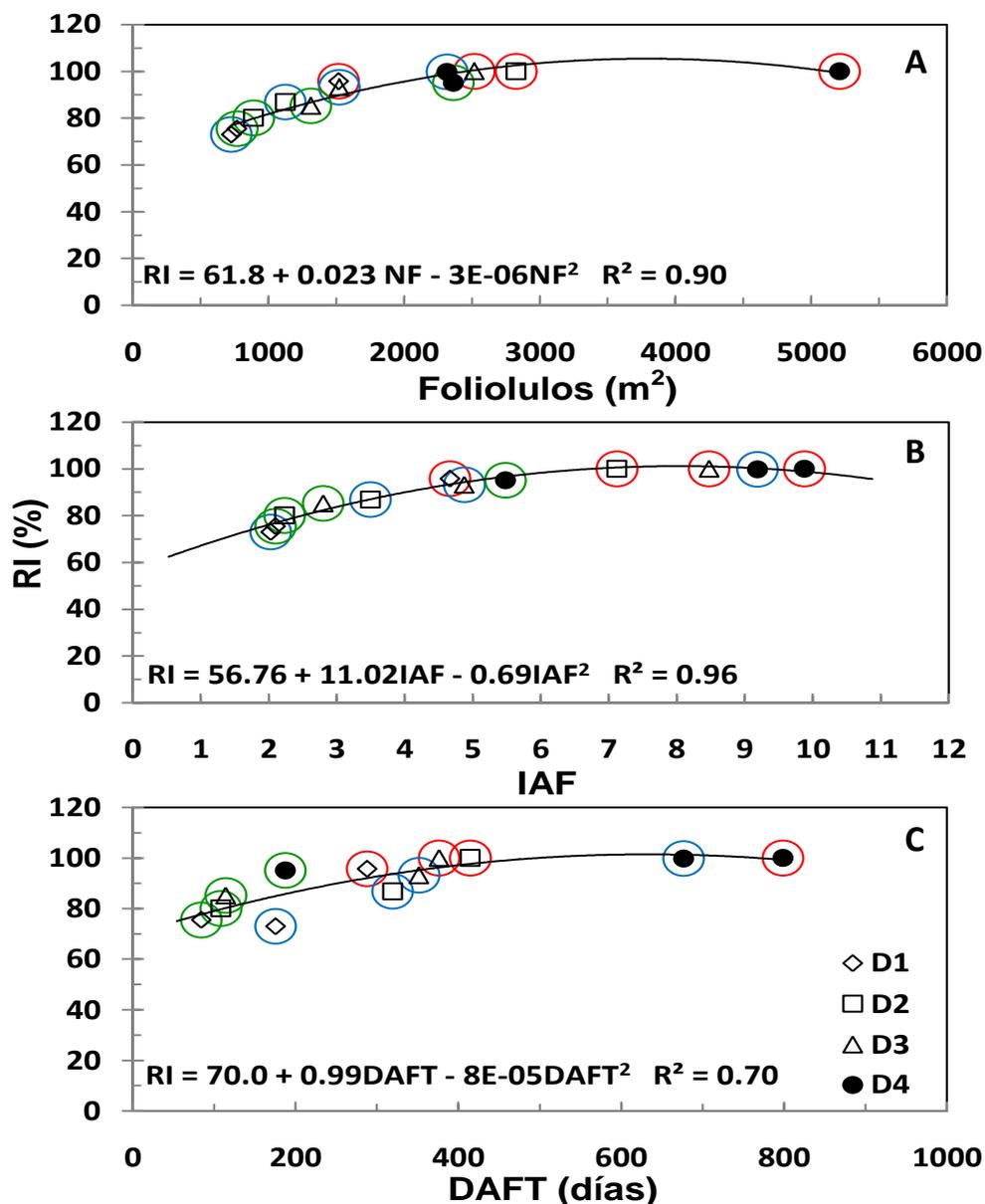


Figura 66. Relación entre la radiación interceptada (RI) y el máximo número de foliollulos (NF) (A), máximo índice de área foliar (IAF) (B), y duración del área foliar total (DAFT) (C). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

3.3.5. Acumulación de materia seca

3.3.5.1. Materia seca en hoja

La acumulación de materia seca en hoja (AMSH) por unidad de superficie (m²) se incrementó al aumentar la DP en las tres localidades (Figura 67, 68 y 69). Montecillo

presentó en promedio la más alta AMSH a los 87, 127 y 156 dds, seguida de San Pablo y Cd. Serdán.

Montecillo mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) por las densidades evaluadas durante todo el ciclo de cultivo, alcanzando sus valores más altos a los 127 dds y fue de 312, 464, 327 y 1064 g m⁻², para D1, D2, D3 y D4, respectivamente. A los 156 dds, la materia seca de la hoja disminuyó alcanzando valores de 79, 115, 197 y 306 g m⁻², para D1, D2, D3 y D4, respectivamente (Cuadro 18 Apéndice). Los tratamientos evaluados en San Pablo provocaron cambios significativos ($P \leq 0.05$) a los 87, 127 dds encontrándose la mayor AMSH con D4 siendo de 378 y 468 g m⁻², respectivamente D1 presentó los valores más bajos con 96 y 378 g m⁻² (Cuadro 19 Apéndice). A los 156 dds la caída en la AMSH fue en promedio mayor en Montecillo en comparación con San Pablo (68 y 64% respectivamente) y principalmente con D3 y D4, posiblemente al mayor autosombreo que se provocó entre las plantas incrementándose la tasa relativa de senescencia (TRS, Cuadro 13). En todas las densidades de Cd. Serdán la AMSH se incrementó de los 87 a los 127 dds encontrándose la mayor AMSH con D4 siendo de 345 y 429 g m⁻². D1 presentó los valores más bajos (Cuadro 20 Apéndice). Los incrementos en la AMSH de las densidades altas se deben a un mayor IAF máximo ($R^2=0.79$) y RI ($R^2=0.77$), así como la DAFT más alta ($R^2=0.82$) (Figura 70).

3.3.5.2. Materia seca en tallo

La acumulación de materia seca en tallo (AMST) en promedio se incrementó durante el ciclo de cultivo, alcanzando los valores más altos a los 156 dds en Montecillo y San Pablo con 734 y 616 g m⁻². Cd. Serdán presentó una AMST a los 127 dds de 429 g m⁻².

En las tres localidades la mayor AMST fue con D4. Así a los 127 dds fue de 963, 928 y 740 g m⁻² para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. A los 156 dds, Montecillo y San Pablo acumularon 1364 y 1038 g m⁻² en tallo. Resultados similares encontró Loos *et al.* (1998b). Después de esta fecha la AMST disminuyó en promedio fue de 43.4 y 24% en Montecillo y San Pablo, respectivamente. (Figura 67, 68 y 69). Esta caída se debe a la translocación de materia seca a la vaina, aunque en Montecillo

hay una mayor pérdida de materia seca se esperaría un mayor peso seco de vaina en comparación con San Pablo, sin embargo Montecillo presentó un mayor número de tallos en promedio y por la competencia intra-específica por asimilados, algunos de esos tallos presentaron una rápida senescencia. Hasta los 156 dds la AMST por m^2 se relaciona con el número de tallos por m^2 ($R^2=0.70$), la AP no influye en gran medida en la AMST por unidad de superficie ($R^2=0.56$) pero sí en la AMST por planta ($R^2=0.93$) (Figura 71).

3.3.5.3. Materia seca en fruto (pericarpio + semilla)

La acumulación de materia seca de fruto (AMSF) comenzó desde los 87 dds en Montecillo y San Pablo y 40 días después en Cd. Serdán (Figura 67, 68 y 69). La AMSF que se registró a la madurez fisiológica (MF) fue de 415, 550 y 426 $g\ m^{-2}$, en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. Así a la MF la distribución espacial de las plantas provocó diferencias altamente significativas ($P\leq 0.05$) en las tres localidades, ya que al incrementarse la distancia entre plantas disminuyó la AMSF siendo de 236, 345 y 229 $g\ m^{-2}$ para D1 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente, que representa 32, 33 y 30% de lo obtenido con D4 (733, 733 y 775 $g\ m^{-2}$, respectivamente) (Cuadro 18, 19 y 20 Apéndice). El mayor peso de fruto en D4 se debió posiblemente a la mayor duración del área foliar como lo señala De Costa *et al.*, (1997).

3.3.5.4. Materia seca total

Montecillo y San Pablo presentaron en promedio la acumulación de materia seca total (AMSTO) más alta a los 156 dds con 1211 $g\ m^{-2}$ y 1104 $g\ m^{-2}$, disminuyendo a la MF (830 y 1017 $g\ m^{-2}$). Cd. Serdán presentó una caída de 11% de los 127 dds (938 $g\ m^{-2}$) a la MF (836 $g\ m^{-2}$). La pérdida de materia seca se debe a la senescencia foliar y menor acumulación que se registra en el tallo. (Figura 67, 68 y 69). La mayor AMSTO en Montecillo se debe a una mayor cobertura vegetal y RI.

La AMSTO durante todo el ciclo de cultivo presentó diferencias altamente significativamente por la DP en las tres localidades y fue mayor al aumentar la

densidad (Cuadro 18,19, 20 Apéndice). En Montecillo la mayor AMSTO fue con D4 con 1287, 2319, 2568 y 1499 g m⁻² a los 87, 127, 156 y MF, respectivamente, superando en 71, 73, 80 y 70% a D1 que presentó la menor AMSTO (Cuadro 18 Apéndice). En San Pablo D1, D3 y D4 presentaron un incremento a través del tiempo en la AMSTO hasta los 156 dds, posteriormente disminuye. D2 presentó un incremento hasta la MF debido a que la AMST de los 156 a la MF registró cambios poco significativos. No obstante durante todo el ciclo de cultivo D4 mostró la mayor AMSTO oscilando durante el ciclo de cultivo entre 945 y 1815 g m⁻² (Cuadro 19 Apéndice). Esta misma densidad en Cd. Serdán mostró los valores más altos con 750, 1651 y 1539 g m⁻² a los 87, 127 y MF. D1 solo alcanzó el 26, 33 y 30%, respectivamente, de lo logrado por D4 (Cuadro 20 Apéndice). La AMSTO a la MF se relacionó con el máximo IAF ($R^2=0.81$), la máxima RI ($R^2=0.80$) y la DAFT ($R^2=0.76$) (Figura 72). Este último parámetro presenta una relación polinomial de segundo grado, es decir que valores altos en la DAFT afectan la acumulación de biomasa total como lo señalan Mínguez *et al.* (1993). Vega y Andrade (2000), mencionan que el manejo de la densidad de plantas es una de las herramientas más importantes para lograr que el dosel vegetal intercepte el máximo de radiación incidente y produzcan altas tasas de crecimiento, los cuales se relacionan directamente con el IAF, alcanzar el IAF crítico (valor mínimo que permite interceptar el 95% de la radiación incidente) en el menor tiempo posible después de la siembra del cultivo es un objetivo de manejo fundamental para maximizar la producción de materia seca.

3.3.6. Acumulación y distribución de materia seca en los diferentes órganos a la madurez fisiológica (MF)

La producción total de biomasa por unidad de superficie, se incremento con la DP. Para Montecillo fue de 452, 570, 798 y 1499 g m⁻², para D1, D2 y D3 y D4, respectivamente. En San Pablo fue de 589, 865, 1168 y 1447 g m⁻² y Cd. Serdán de 468, 541, 797 y 1539 g m⁻², respectivamente. Sin embargo, por planta disminuyó al incrementar la DP, así con D1, D2, D3 y D4 se presentó una AMSTO por planta de 146, 136, 129 y 120 g, respectivamente en Montecillo, de 190, 208, 188 y 116 g en San Pablo y de 151, 129, 129 y 123 g en Cd. Serdán, respectivamente (Figura 73A, B y C). Las diferencias entre las localidades se pueden asociar al ciclo de cultivo que se registró o bien la eficiencia

el uso de radiación en transformar biomasa para cada ambiente. En general, la materia seca total (MST) producida por unidad de área se incrementa con el aumento en la densidad, hasta aproximarse a un valor máximo. El aumento de la densidad provoca un incremento del área foliar y, consecuentemente, de la captación de recursos. Este último proceso continúa hasta que el área foliar se maximiza. Paralelamente, la producción de MST por planta va disminuyendo, siendo la producción por unidad de área compensada por el mayor número de individuos (Vega y Andrade, 2000) En cuanto a distribución de materia seca que se observa en el Cuadro 14, en Montecillo y San Pablo existió una mayor acumulación en el tallo al aumentar el número de plantas por unidad de superficie y menor en la semilla, los valores más altos en el tallo se debe a la mayor elongación en el tallo y longitud de entrenudos (Loss *et al.*, 1997). Cd. Serdán presentó un comportamiento inverso, ya que el porcentaje de materia seca fue mayor en la semilla y menor en el tallo. Por ejemplo en Montecillo para D4 el tallo, semilla y pericarpio acumularon el 54, 36 y 11%, respectivamente mientras que en D1 fue de 48, 39 y 13%, respectivamente. Cd. Serdán para las mismas densidades fue de 50, 35 y 15% y 51, 35 y 14%, respectivamente (Cuadro 14).

3.3.7. Rendimiento de vaina verde (RVV)

El RVV más alto promedio se encontró en San Pablo con 1210 g m⁻² superando en 13 y 4% a Montecillo y Cd, Serdán, respectivamente (1048 y 1165 g m⁻²). El mayor RVV se asocio con el incremento de peso de vaina (10.2) que mostró San Pablo, aunque en Cd. Serdán se encontró el mismo PV, el NV fue menor (Cuadro 21 Apéndice).

En las tres localidades se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el RVV por las densidades evaluadas. Así al aumentar de D1 a D4 el RVV fue mayor siendo con D4 de 1588, 1742 y 1950 g m⁻², en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente, superando a D1 con 55, 58 y 62%, respectivamente (Figura 74A, B y C). El RVV más alto fue debido al mayor número de plantas por m² que incrementaron el NV por m², que es el componente más relacionado con el RVV (Bozoglu *et al.*, 2002). Filek *et al.* (1997) y Nadal y Moreno (2006) encontraron un mayor RVV al incrementar el número de plantas por unidad de superficie.

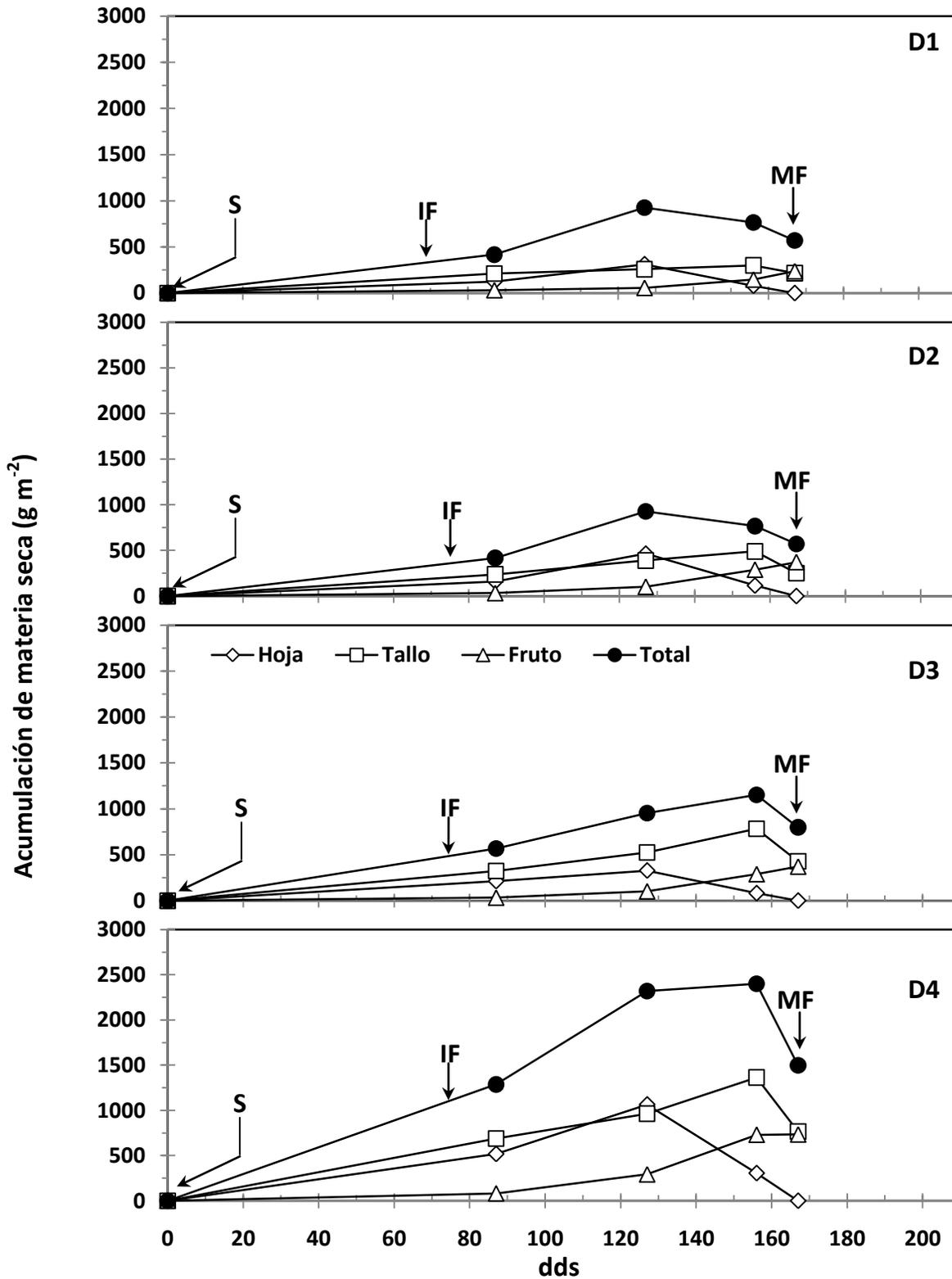


Figura 67. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con diferentes densidades de población. Montecillo, Méx. Primavera, 2007. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4=12.5 pl m⁻². dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica.

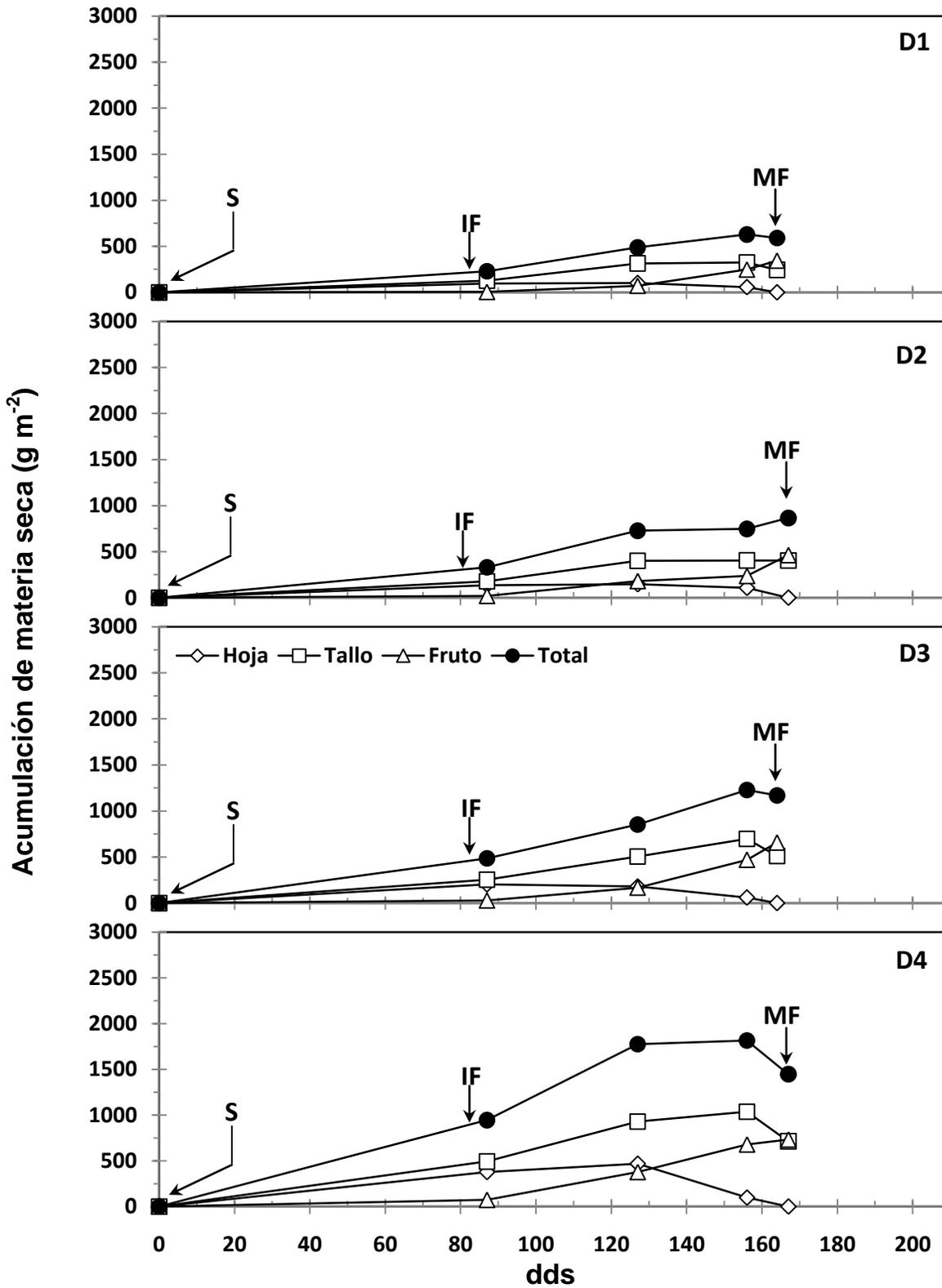


Figura 68. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con diferentes densidades de población. San Pablo Ixayoc, Méx. Primavera, 2007. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻². dds: días después de la siembra. S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica.

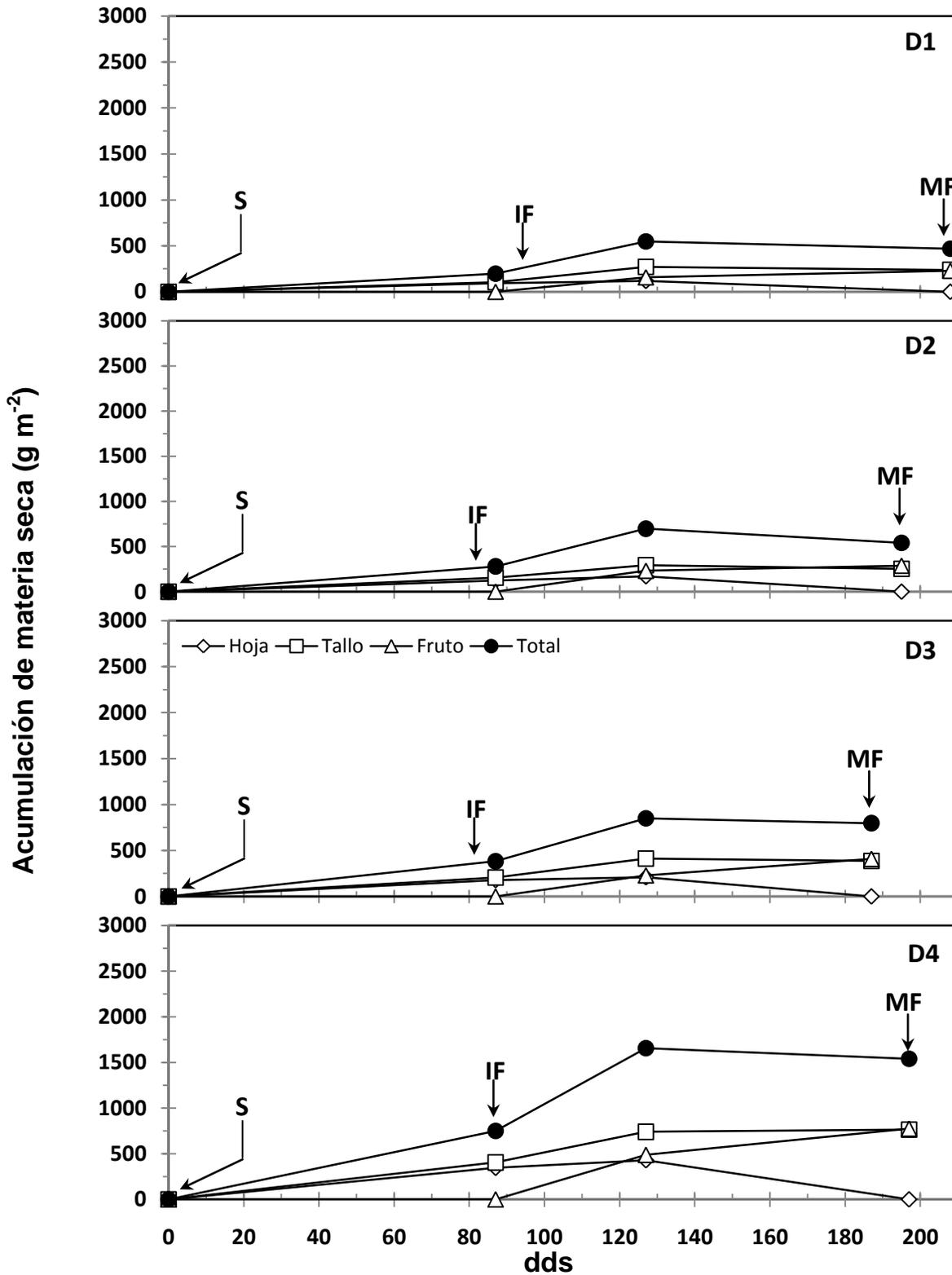


Figura 69. Dinámica de acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta en haba con diferentes densidades de población. Cd. Serdán, Puebla. Primavera, 2007. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4=12.5 pl m⁻². dds: días después de la siembra, S: siembra, IF: inicio floración y MF: madurez fisiológica.

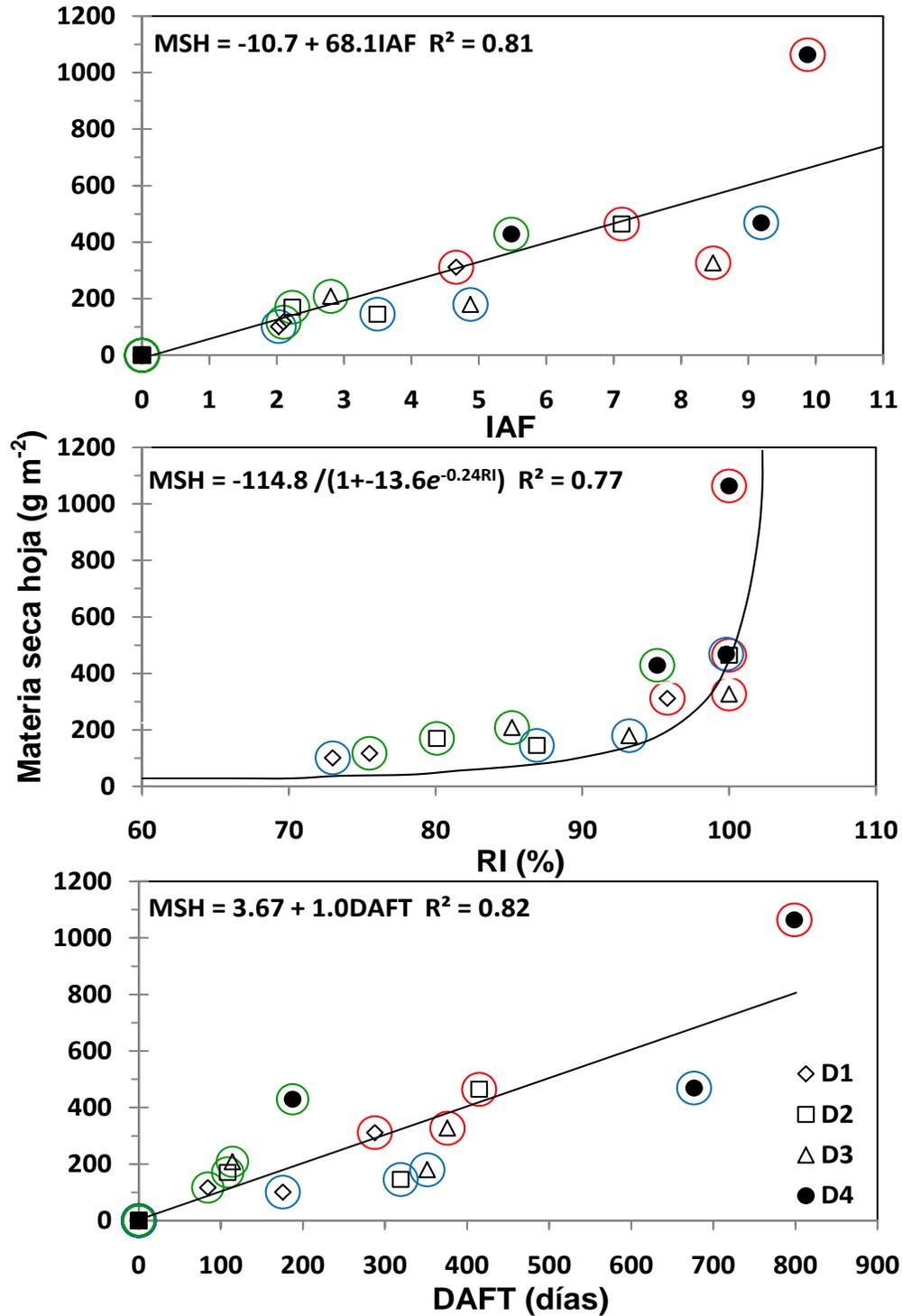


Figura 70. Relación entre la máxima materia seca en hoja (MSH) y el máximo índice de área foliar (IAF), máxima radiación interceptada (RI) y duración del área foliar total (DAFT). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

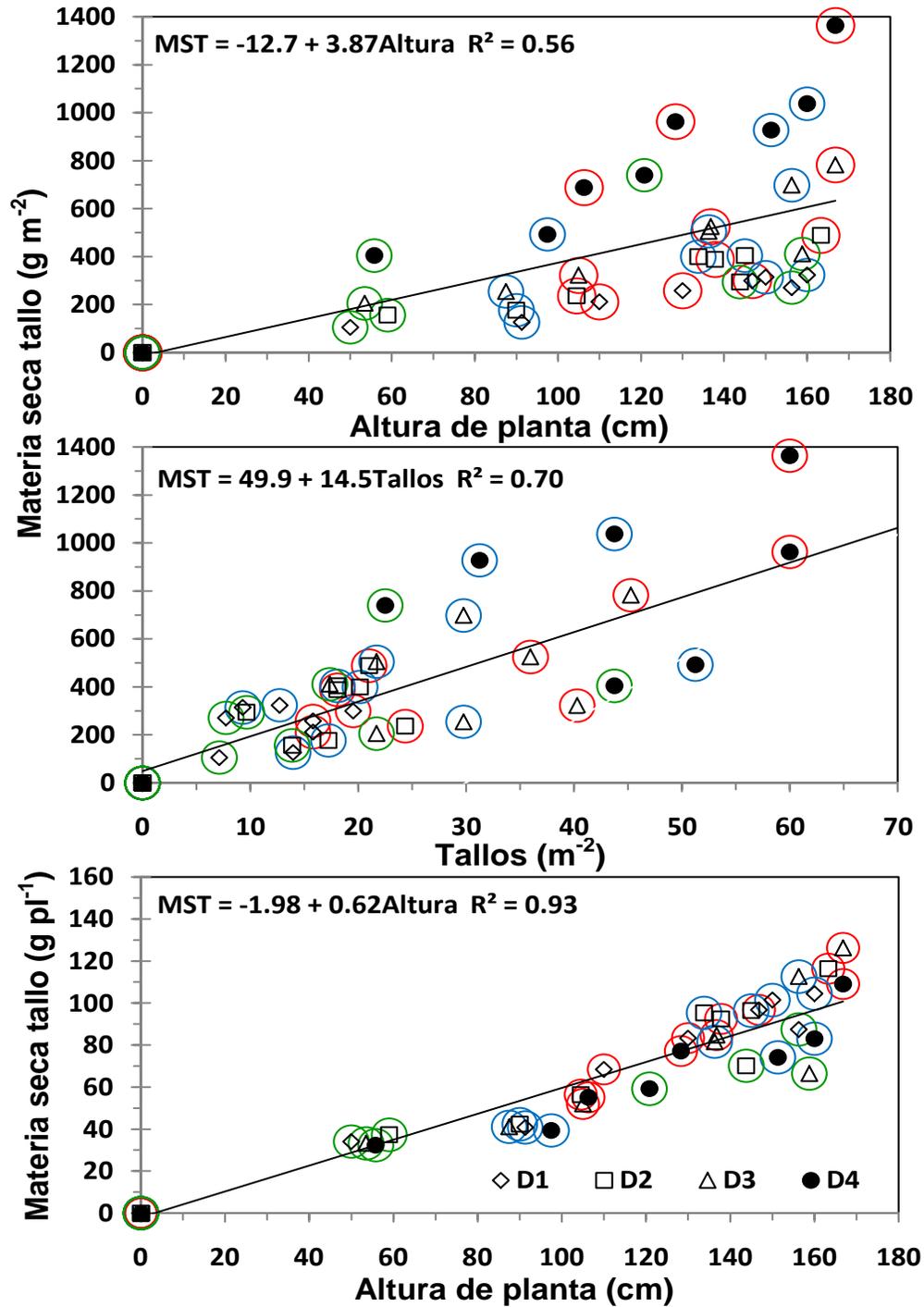


Figura 71. Relación entre la materia seca tallo (MST) por unidad de superficie (m²) hasta los 127 dds y la altura de planta (AP) y número de tallos por m² y entre materia seca tallo por planta y AP. Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

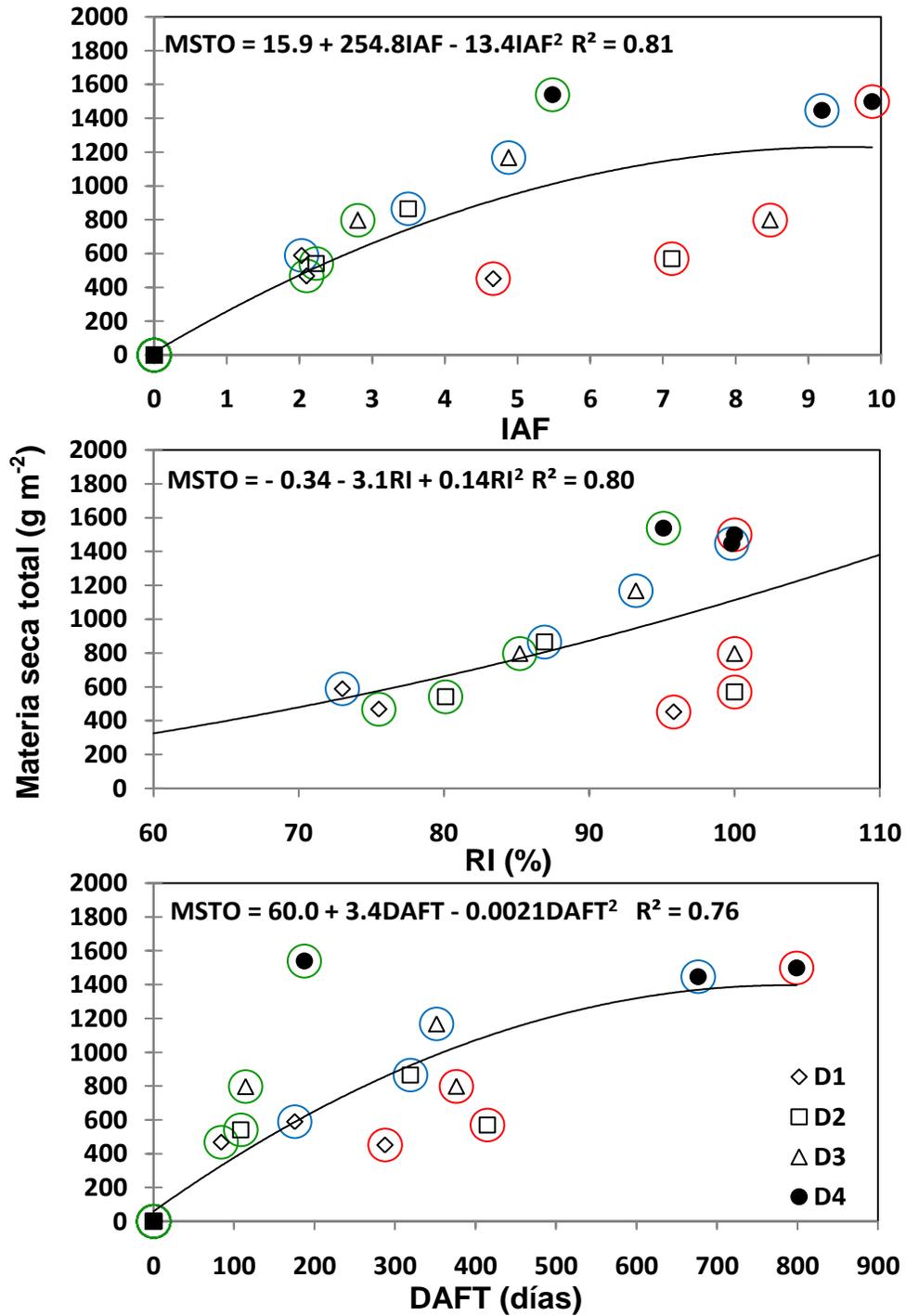


Figura 72. Relación entre la materia seca total (MST) a la madurez fisiológica y el máximo índice de área foliar (IAF), máxima radiación interceptada (RI) y duración del área foliar total (DAFT). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

Cuadro 14. Acumulación y distribución de materia seca en los diferentes órganos de la planta a la madurez fisiológica con diferentes densidades de población. Primavera 2007.

Tratamiento	Materia seca (g m ⁻²)					Distribución de materia seca (%)				
	Hoja	Tallo	Semilla	Pericarpio	Total	Hoja	Tallo	Semilla	Pericarpio	
Montecillo										
D1	0.0	216.2	176.9	59.0	502.4	0.0	47.8	39.1	13.0	
D2	0.0	250.9	234.1	85.2	631.5	0.0	44.0	41.0	14.9	
D3	0.0	427.5	285.3	85.7	570.2	0.0	53.6	35.7	10.7	
D4	0.0	766.1	568.7	164.4	607.0	0.0	51.1	37.9	11.0	
San Pablo										
D1	0.0	244.0	252.3	92.9	589.2	0.0	41.4	42.8	15.8	
D2	0.0	402.8	335.9	126.7	865.4	0.0	46.5	38.8	14.6	
D3	0.0	511.4	473.3	183.5	1168.2	0.0	43.8	40.5	15.7	
D4	0.0	713.9	540.7	192.5	1447.1	0.0	49.3	37.4	13.3	
Cd. Serdán										
D1	0.0	238.4	164.9	64.7	468.0	0.0	50.9	35.2	13.8	
D2	0.0	252.8	211.4	77.0	541.2	0.0	46.7	39.1	14.2	
D3	0.0	387.1	300.3	109.8	797.2	0.0	48.6	37.7	13.8	
D4	0.0	764.4	544.9	230.1	1539.3	0.0	49.7	35.4	14.9	

D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

En la Figura 73A, B y C se puede observar que por unidad de superficie hay un incremento de 93, 100.6 y 125.6 g m⁻² por cada planta que incremento en la DP en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. Mientras que por planta hay una reducción en el rendimiento al aumentar la DP aproximadamente de 9.7, 10.6 y 8.6 g planta⁻¹, respectivamente. Se puede observar que en Cd. Serdán para el RVV el cultivo tiene una mayor plasticidad en respuesta a densidades altas. El PV no presentó una respuesta clara a la DP, sin embargo, podría establecerse que en Montecillo disminuye al incrementar la DP y en San Pablo y Cd. Serdán aumenta con mayor número de plantas por m² (Cuadro 21 Apéndice).

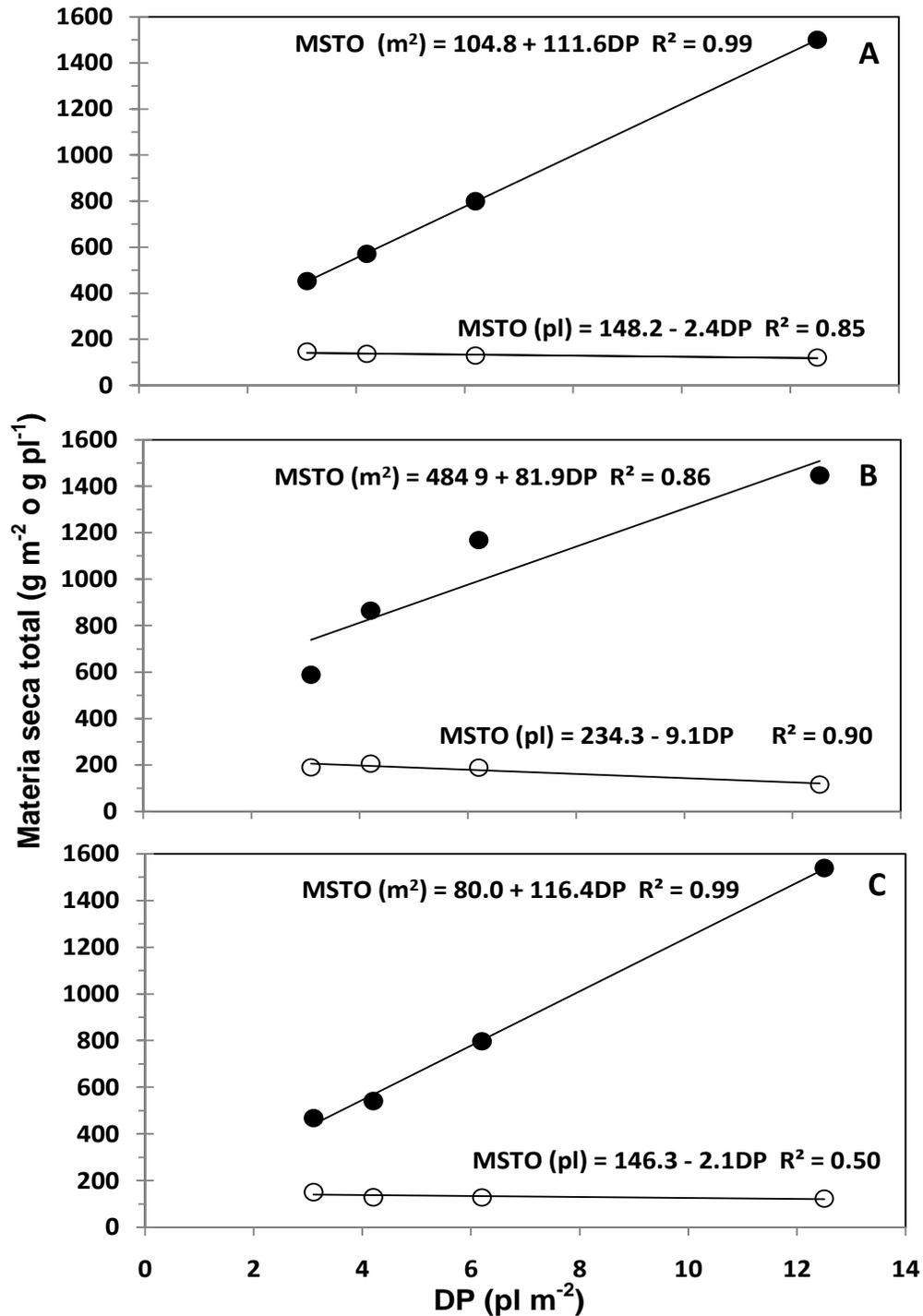


Figura 73. Materia seca total (MSTO) por m² y planta (pl) a la madurez fisiológica con diferentes densidades de siembra (DP) en haba sembrada en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Sedán (C). Primavera 2007. Símbolos llenos por m² y símbolos vacíos por planta.

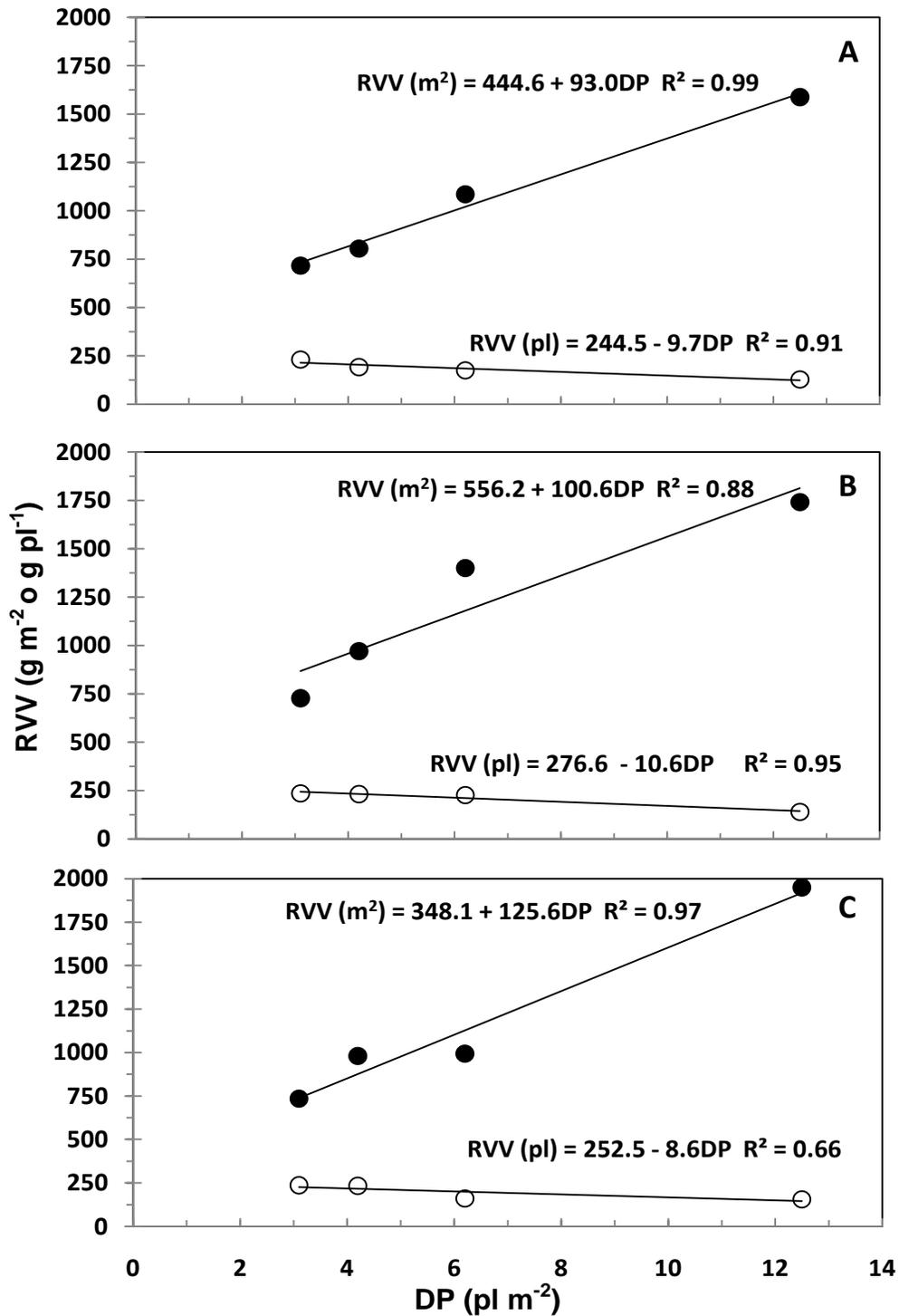


Figura 74. Rendimiento de vaina verde (RVV) en haba con diferentes densidades de población (DP) sembrada en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. Símbolos llenos por m² y símbolos vacíos por planta.

3.3.8. Componentes de rendimiento en grano seco

3.3.8.1. Número (NV) y peso de vaina (PV)

El peso de vaina (PV, g m⁻²) y número vainas (NV, m²) presentaron diferencias significativas en las tres localidades evaluadas. El mayor PV entre los ambientes se presentó en San Pablo con 594 g m⁻², superando a Montecillo y San Pablo en 180 y 142 g m⁻², respectivamente. El incremento en el PV se debió al mayor NV, siendo de 169, 167 y 142 para San Pablo, Montecillo y Cd. Serdán, respectivamente. En la Figura 75A se observa la alta dependencia del PV a cambios en el NV. En Montecillo al incrementar la densidad el PV fue mayor, así con D4 se registró un PV de 733 g m⁻², mientras que D1, D2 y D3 fue de 235, 319 y 371 g m⁻², respectivamente. San Pablo y Cd. Sedán presentaron un comportamiento similar, ya que D4 mostró un PV más alto siendo de 733 y 775 g m⁻², respectivamente con D1 en ambas localidades se encontró el menor PV.

El NV por m² fue uno de los caracteres que más se relacionó con el rendimiento de grano seco (Figura 79B). Así, D4 provocó el mayor NV en comparación con la densidad más baja (D1). El incremento fue de 70, 44 y 67 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. El menor incrementó en San Pablo se debe a que con D3 se mostró el mayor NV (230 m⁻²). En haba existe lo que se denomina “efecto compensatorio plástico” que es cuando un componente o componentes de rendimiento disminuyen pero se incrementa otro, así en diferentes densidades el efecto principal efecto compensatorio es el número de vainas y semillas por m².

En cuanto al PV y NV por planta fue más bajo al aumentar la densidad. En el PV en Montecillo fue de 76 y 58 g planta⁻¹, para D1 y D4, respectivamente, mientras que en San Pablo y Cd. Serdán de 111 y 59 g planta⁻¹ y 74 y 62 g planta⁻¹, respectivamente. El NV presentó un comportamiento similar. En altas densidades existe una fuerte competencia por asimilados aumentando el aborto de flores y vainas en desarrollo, además hay un menor número de nudos y tallos por planta disminuyendo el NV y por tanto en PV. Pilbeam *et al.*, (1991a) concluye que en un mayor número de plantas por m² se reduce el NV por tallo así como el número de vainas por planta.

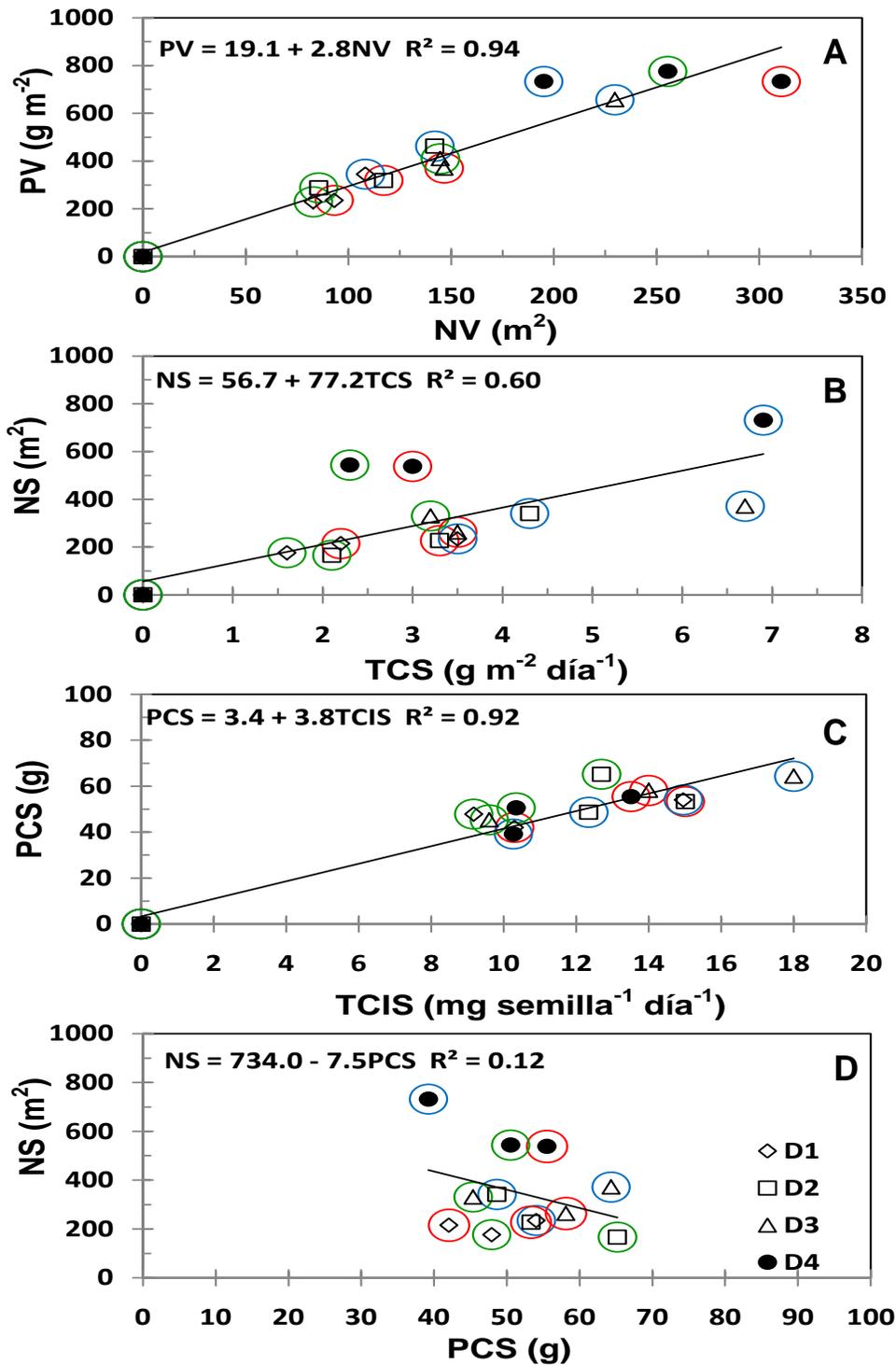


Figura 75. Relación entre: número de vainas (NV) y peso de vaina (PV) (A), peso de cincuenta semillas (PCS) y número de semillas (NS) (B), tasa de crecimiento de semilla (TCS) y NS (C) y tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS) y PCS (D). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

3.3.8.2. Numero de semillas (NS) y tasa de crecimiento de semilla (TCS)

La densidad de población presentó un efecto significativo ($P \leq 0.05$) sobre el número de semillas (NS, m^2) en las tres localidades (Cuadro 15). El NS más alto se registró con D4 con 538, 731 y 544 para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1 presentó el NS más bajo en Montecillo y San Pablo, siendo de 215, 235. En Cd. Serdán correspondió a D1 y D2, que presentaron igualdad estadística con 176 y 167, respectivamente. El mayor NS encontrado con D4 se debió al incremento en la tasa de crecimiento de semilla (TCS), ya que fue de 6.79, 6.92 y 5.61 $g\ m^{-2}\ día^{-1}$, para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, superando en 67, 49 y 72% a D1, respectivamente (Cuadro 15).

En promedio el mayor NS se presentó en San Pablo y el menor en Cd. Serdán, debido a las diferencias en la TCS que se presentó en las localidades siendo de 5.4 $g\ m^{-2}\ día^{-1}$ para San Pablo y de 2.3 $g\ m^{-2}\ día^{-1}$ para Cd. Serdán (Figura 75B). Los valores bajos encontrados en esta última, se deben al mayor periodo de llenado de grano en promedio (100 días), así a mayor periodo de llenado de grano menor TCS (Figura 76A)

3.3.8.3. Peso de cincuenta semillas (PCS) y tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS)

El peso de cincuenta semillas (PCS) fue más alto en Montecillo y Cd. Serdán en comparación con San Pablo, con un promedio fue de 52, 52 y 51, respectivamente (Cuadro 15). En Montecillo las densidades no afectaron en PCS y TCIS. San Pablo y Cd. Serdán presentaron las semillas con mayor peso en D3 y D2, con 64 y 65 g, respectivamente, debido a una alta TCIS siendo de 18 $mg\ semilla\ día^{-1}$ y 12.7 $mg\ semilla\ día^{-1}$ (Figura 75C). La mayor TCIS se relacionó con un menor tiempo de llenado de vaina (Figura 76B). López *et al.* (2005), mencionan que el peso de semilla no se modifica por el cambio en la densidad de población, ya que es un factor que se controla genéticamente, sin embargo en algunos casos aumenta al disminuir la densidad, ya que existe una menor competencia por recursos entre plantas y por tanto se incrementa la disponibilidad de asimilados por vaina, resultando en un mayor peso de semilla (Al-Rifae *et al.*, 2004). Caso contrario menciona Idris (2008), quien encontró

un mayor peso de semilla al aumentar la densidad debido a que en un menor espacio entre plantas hay una mayor abscisión de vainas creando un periodo de llenado de vaina más favorable. En la Figura 75D, se observa que para el caso de las diferentes DP el tamaño de la semilla no influye sobre el número de semillas ($R^2 < 0.13$).

3.3.8.4. Número de semillas por vaina (NSV)

El efecto de las densidades sobre el NSV fue inconsistente, posiblemente a que es un carácter relativamente estable en haba (Coelho y Pinto, 1989). Sin embargo, se presentaron diferencias significativas en las tres localidades. En Montecillo disminuye al incrementar la densidad como lo sugiere Al-Abdulsam y Abdulsam (1995) y Idris (2008). En San Pablo y Cd. Serdán los valores más altos se encontraron con D3 (2.65 y 2.27, respectivamente) (Cuadro 15).

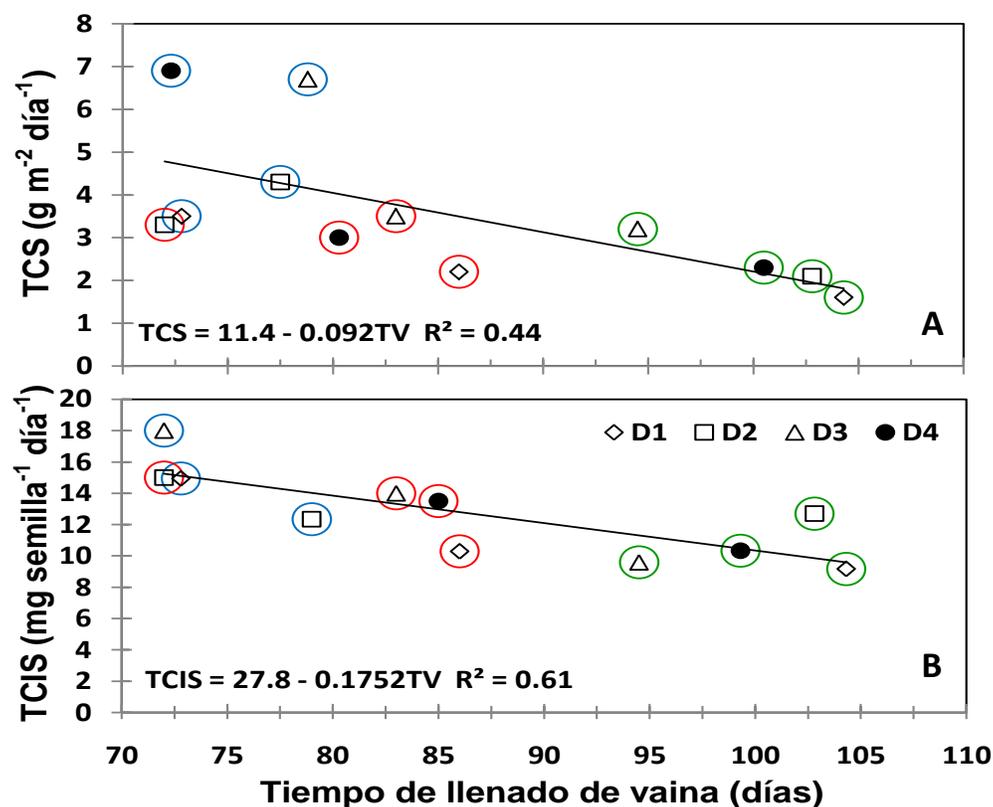


Figura 76. Relación entre la tasa de crecimiento de semilla (TCS) (A) y la tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS) (B) con el tiempo de de llenado de vaina (TV) Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

3.3.9. Índices de translocación en grano seco

3.3.9.1. Índice reproductivo (IR), intensidad de partición (IP) e índice de cosecha (IC)

El índice reproductivo (IR) disminuyó al aumentar la DP en Montecillo, sin embargo no existieron diferencias significativas, ya que sus valores oscilaron entre 0.85 y 0.58 semillas g^{-1} . En San Pablo y Cd. Serdán, aunque existieron diferencias significativas el comportamiento fue irregular, presentándose el IR más alto en D4 y D3 con 0.80 y 0.56 semilla g^{-1} , respectivamente, así en densidades altas se generaron mas semillas por biomasa producida. (Cuadro 15).

La intensidad de partición (IP) no presentó cambios por la densidad ($P \geq 0.05$) en las tres localidades, no obstante, el mayor IP se encontró con D2, D1 y D2, para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (0.97, 0.97 y 0.75). En promedio Cd. Serdán presentó el IP más bajo con 0.71, superado por Montecillo y San Pablo en 14 y 24%, respectivamente.

El índice de cosecha (IC) fue mayor al 35% en las tres localidades, San Pablo fue la localidad con los valores más altos con 40% en promedio, seguida de Montecillo y Cd. Serdán con 39 y 37%. En general en Montecillo y San Pablo, se puede observar que con densidades altas disminuye el IC; ya que la mayor acumulación de materia seca se encontró en D2 y D1, respectivamente (mayor al 40%). En Cd. Serdán el solo aumentó hasta D2, para posteriormente disminuir, siendo de 36, 39, 36 y 35% en D1, D2, D3 y D4, respectivamente (Cuadro 15). Según Al-Rifae *et al.* (2004) altas densidades aumentan en mayor medida el rendimiento biológico y disminuye la translocación de materia seca para semilla.

3.3.10. Rendimiento de grano seco (RGS)

El r rendimiento de grano seco (RGS) presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) por efecto de la densidad de población en las tres localidades. Así al aumentar la densidad de población de D1 a D4 ocasionó mayor RGS. En promedio fue de 316, 401 y 301 $g m^{-2}$ en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente.

En Montecillo el RGS más alto se encontró en D4 con 569 g m^{-2} , superando con 392, 334 y 283 g m^{-2} a D1, D2 y D3, respectivamente. El mayor rendimiento con D4 fue debido al incremento en el NV, NS y AMSTO por m^2 , asociado a una mayor producción, transporte y acumulación de fotoasimilados provenientes de la RI; el cual depende del IAF y la DAF. Así D4 presentó una mayor y más temprana cobertura vegetal (IAF), así como una mayor duración (DAF) y en consecuencia mayor intercepción de luz (RI). Montecillo presentó un incremento de 41 g m^{-2} por el aumento en la densidad de 3.1 a 12.5 pl m^{-2} (Figura 77A).

En San Pablo un RGS máximo de 401 g m^{-2} , se encontró con D4. El rendimiento más bajo se obtuvo con D1 (Figura 77B). El RGS más alto en D4 se debe a la mayor AF, IAF y RI (Cuadro 1), provocando un mayor NS y AMSTO por unidad de superficie. La relación lineal que existió entre la densidad y el RGS ($R^2=0.80$) presentó un incremento de 27.8 g m^{-2} al aumentar en número de plantas por m^2 .

Cd. Serdán presentó un comportamiento similar a las regiones anteriores, ya que D4 fue el mejor para el RGS (545 g m^{-2}) superando en 230% a D1 (164.9 g m^{-2}), con un incremento por densidad de 40.3 g m^{-2} ($R^2 = 0.99$) (Figura 77C). El RGS por planta en las tres localidades disminuye al aumentar de D1 a D4 (Figura 77A, B y C).

La relación entre el IAF y RGS nos señala que un IAF alto afecta negativamente la producción de semilla ($R^2=0.83$) (Figura 78A). Un comportamiento similar presentó la DAF ($R^2=0.78$) (Figura 78B). Posiblemente a la mayor atenuación de luz a través del dosel que incrementa la senescencia de hojas inferiores. Con la mayor RI el RGS se incrementa ($R^2 = 0.79$) (Figura 78C). En cuanto a los componentes de rendimiento los que más influyeron en el RGS fueron NS ($R^2=0.98$), NV ($R^2=0.99$) y AMSTO ($R^2=0.99$), mientras que el PCS y NSV presentó un R^2 de 0.60 (Figura 79A, B, C, D y E). De los índices de translocación el que más influyó en el rendimiento fue la TCS ($R^2=0.98$). La TCSI, el IR, IP e IC mostraron un coeficiente de determinación menor a 75% (Figura 80A, B, C, D y E).

Cuadro 15. Componentes de rendimiento e índices de translocación en haba con diferentes densidades de población. Primavera 2007.

Tratamiento	NV (m ²)	PV (g m ⁻²)	NS (m ²)	PCS (g)	NSV	TCS (g m ⁻² día ⁻¹)	TCIS (mg semilla ⁻¹ día ⁻¹)	IR (semillas g ⁻¹)	IP	IC (%)
Montecillo										
D1	93 b	236 c	215 b	42.1 a	2.35 a	2.23 c	10.30 a	0.85 a	0.80 a	39.1 a
D2	117 b	319 b	227 b	53.3 a	1.95 ab	3.32 b	15.01 a	0.68 a	0.97 a	41.1 a
D3	147 b	371 b	263 b	58.1 a	1.80 ab	3.48 b	14.00 a	0.56 a	0.74 a	36.2 a
D4	311 a	733 a	538 a	55.5 a	1.75 b	6.79 a	13.51 a	0.58 a	0.76 a	37.9 a
Promedio	167	415	311	52	1.96	3.95	13.20	0.67	0.81	38.5
DSH_{0.05}	75.7	72.3	157.4	24.9	0.57	0.77	6.42	0.44	0.27	9.2
San Pablo										
D1	108 c	345 b	235 b	54.1 ab	2.50 a	3.55 b	14.96 ab	0.69 ab	0.97 a	42.6 a
D2	142 bc	463 b	341 b	48.7 bc	2.40 ab	4.26 b	12.35 bc	0.65 bc	0.82 a	38.5 ab
D3	230 a	657 a	371 b	64.3 a	2.65 a	6.73 a	18.00 a	0.54 c	0.94 a	40.6 ab
D4	195 ab	733 a	731 a	39.2 c	2.15 b	6.92 a	10.27 c	0.80 a	0.82 a	37.9 b
Promedio	169	594	343	51.0	2.42	5.36	13.89	0.67	0.88	39.9
DSH_{0.05}	61.6	188.4	270.0	12.1	0.34	1.73	3.43	0.14	0.16	4.6
Cd. Serdán										
D1	83 c	230 b	176 c	47.9 b	2.20 ab	1.59 b	9.17 a	0.58 ab	0.71 a	35.6 a
D2	86 c	288 b	167 c	65.2 a	1.93 b	2.08 b	12.7 a	0.50 b	0.75 a	39.2 a
D3	145 b	410 b	330 b	45.4 b	2.27 a	3.17 b	9.60 a	0.69 a	0.73 a	36.5 a
D4	255 a	775 a	544 a	50.5 ab	2.13 ab	5.61 a	10.34 a	0.56 ab	0.69 a	35.5 a
Promedio	142	453	304	52.3	2.13	3.11	10.45	0.58	0.72	36.5
DSH_{0.05}	58.2	245.4	114.2	16.7	0.30	2.1	3.55	0.17	0.14	5.0

NV: número de vainas, PV: peso de vainas, NS: número de semillas, PCS: peso de cincuenta semillas, NSV: número de semillas por vaina, TCS: tasa de crecimiento de semilla, TCIS: tasa de crecimiento individual de semilla, IR: índice reproductivo, IP: índice de partición, IC: índice de cosecha y RGS: rendimiento de grano seco. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻². ²Valores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

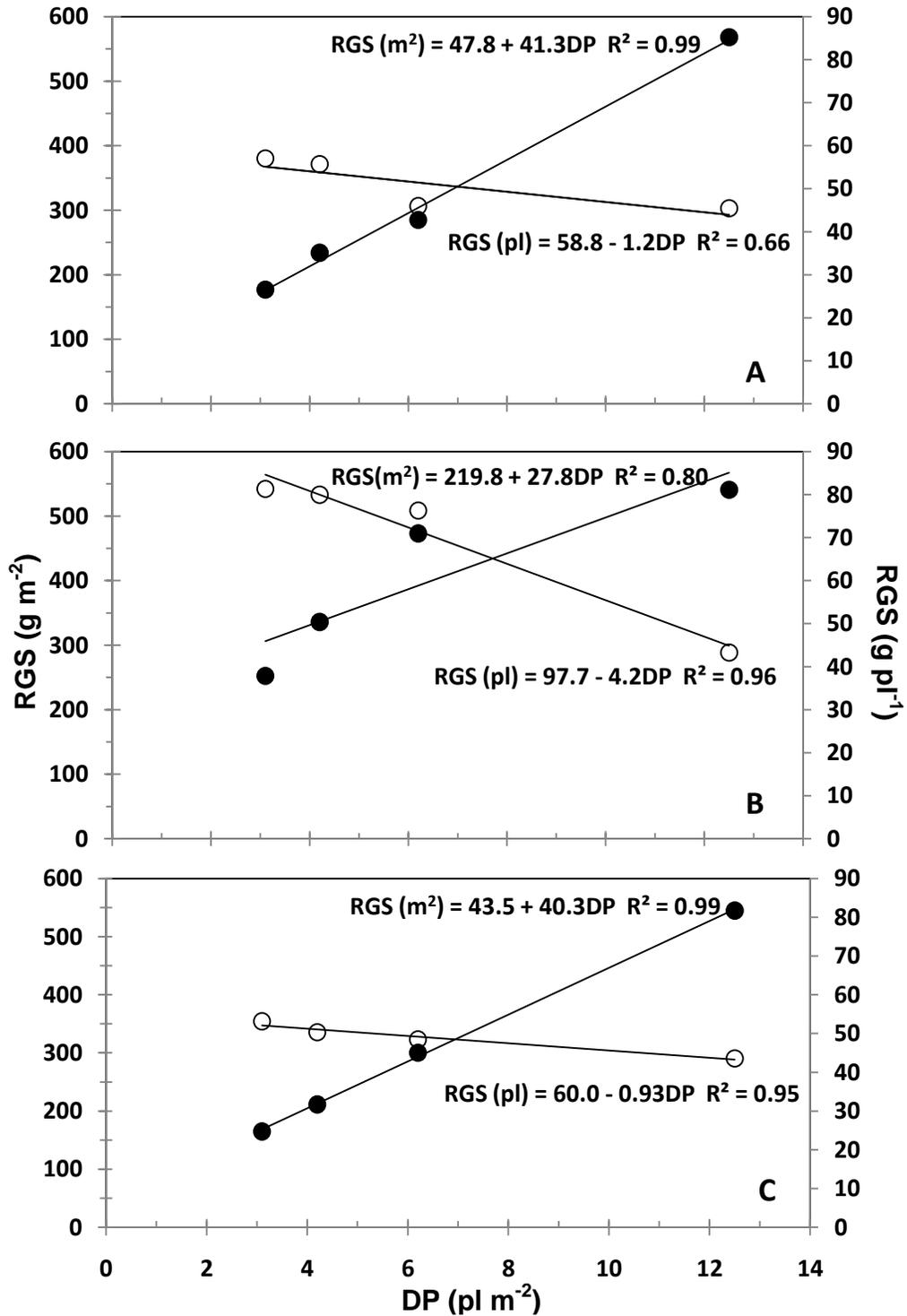


Figura 77. Rendimiento de grano seco (RGS) en haba con diferentes densidades de población (DP) sembrada en Montecillo (A), San Pablo (B) y Cd. Serdán (C). Primavera 2007. Símbolos llenos por m^2 y símbolos vacíos por planta.

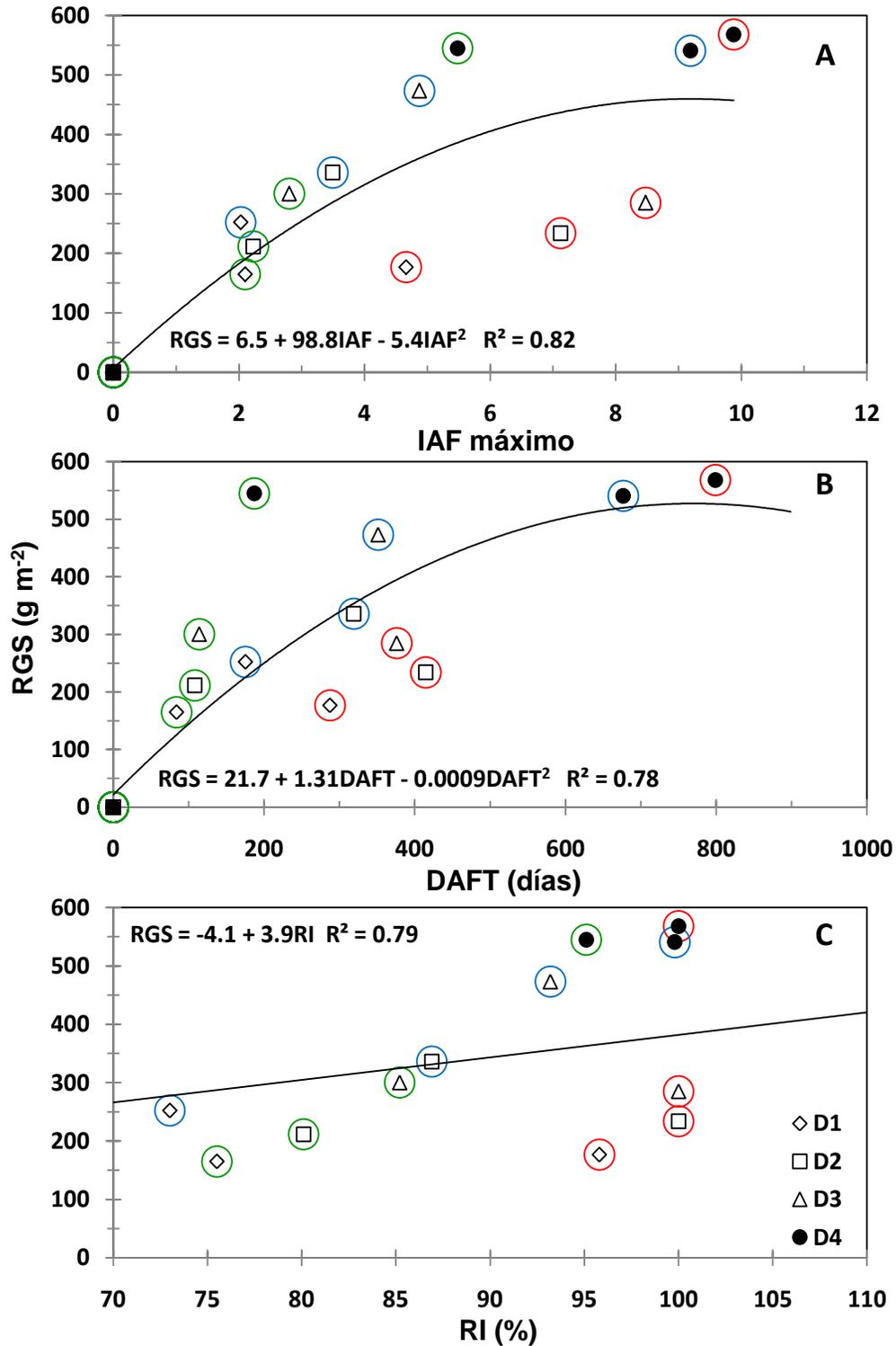


Figura 78. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: índice de área foliar (IAF) máximo (A), duración del área foliar total (DAFT) (B) y máxima radiación interceptada (RI) (C). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

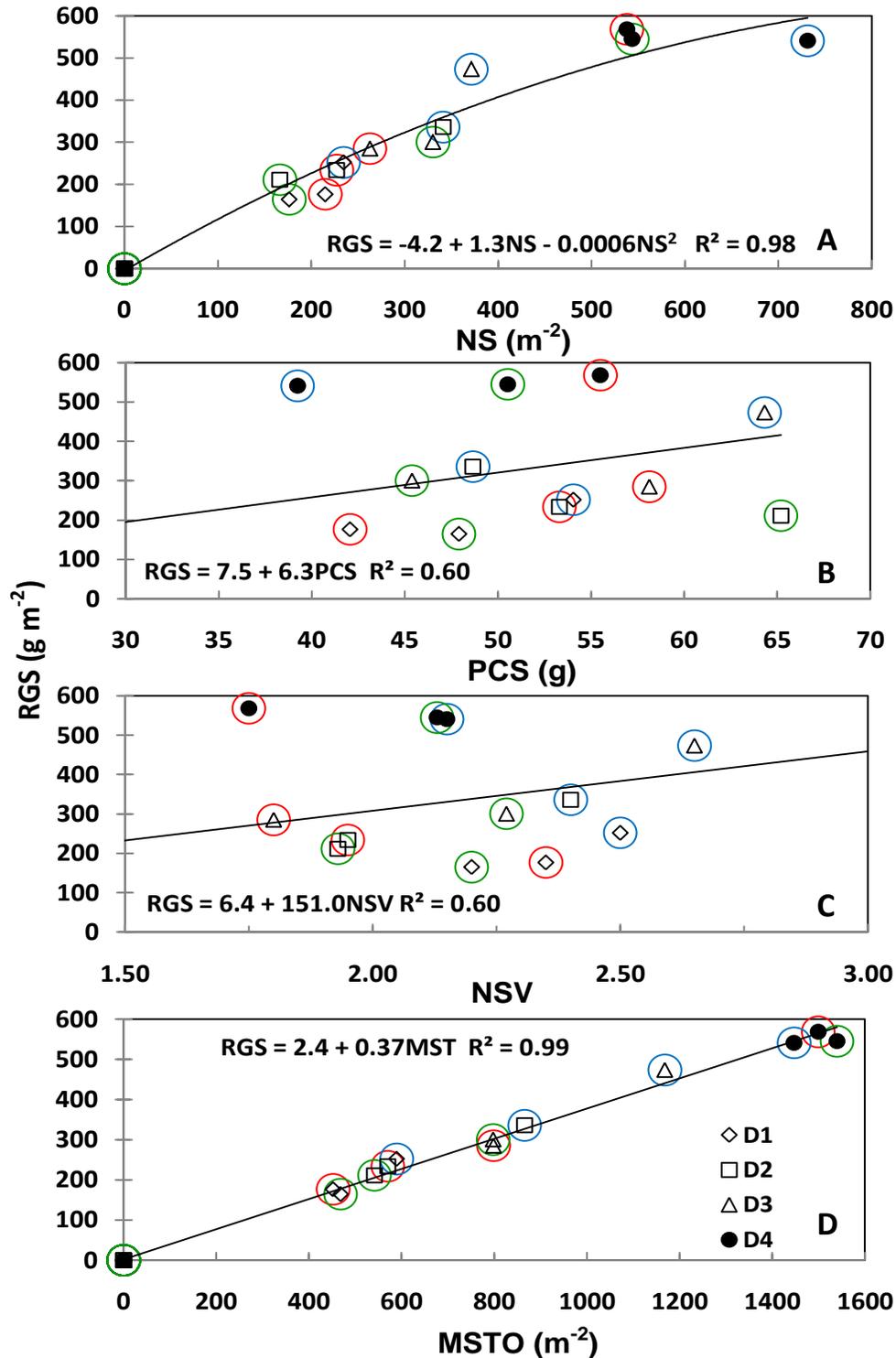


Figura 79. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: número de semillas (NS) (A), número de vainas (NV) (B), peso de cincuenta semillas (PCS) (C), número de semillas por vaina (NSV) (D) y materia seca total (MSTO) (E). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

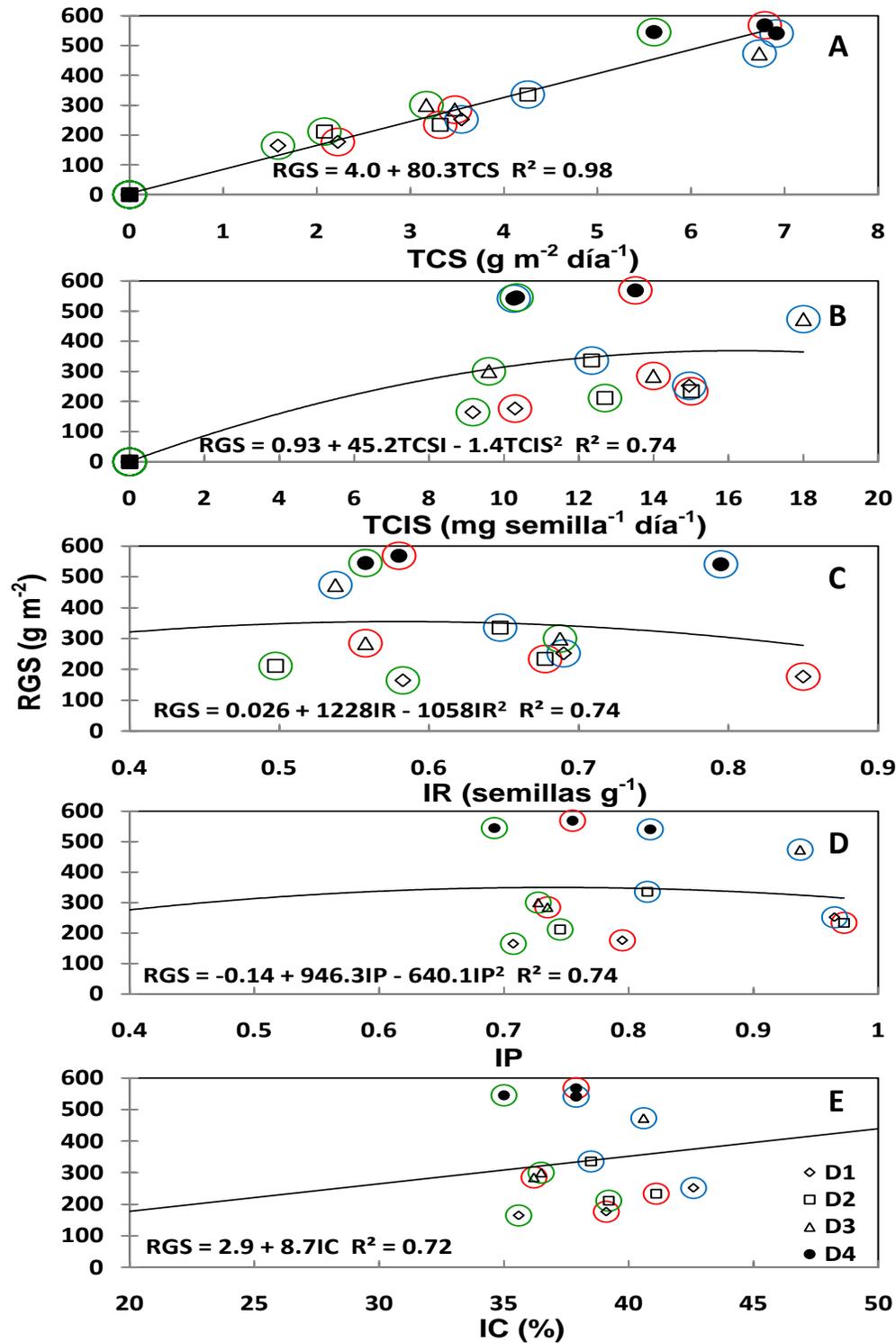


Figura 80. Relación entre el rendimiento de grano seco (RGS) con: tasa de crecimiento de semilla (TCS) (A), tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS) (B), índice reproductivo (IR) (C), índice de partición (IP) (D) e índice de cosecha (IC) (E). Datos entre círculos rojos, azules y verdes corresponden a Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4= 12.5 pl m⁻².

3.3.11. Densidad óptima (DO)

3.3.11.1. Densidad óptima promedio (DOP)

Una de las primeras aproximaciones del comportamiento de la densidad es determinar cuál es la DOP. De acuerdo con la Figura 81 para maximizar el RGS por hectárea, deberá sembrarse una densidad de 12.5 pl m^{-2} ($125000 \text{ pl ha}^{-1}$). El rendimiento estimado sería de 559.5 g m^{-2} (5.6 ton ha^{-1}).

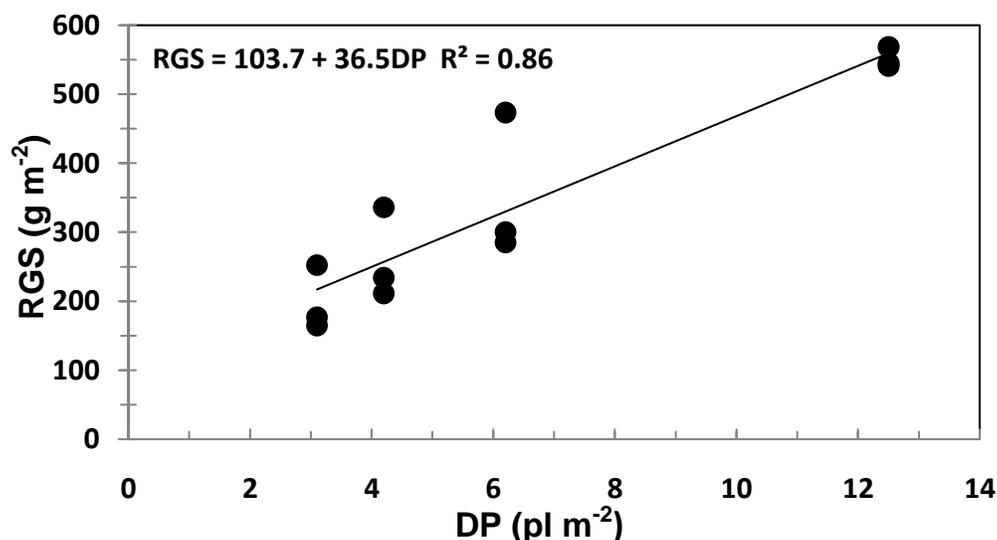


Figura 81. Variación del rendimiento de grano seco (RGS) en función de la densidad de población (DP). Densidad óptima promedio. Datos N = 12

3.3.11.2. Densidad óptima fisiológica por ambiente (DOF)

Puesto que en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán se presentó una relación lineal entre el RGS y el número de plantas por superficie, la DOF en las tres localidades sería de 12.5 pl m^{-2} con un máximo RGS esperable de 564.1, 567.3 y 547.3 g m^{-2} , para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Figura 82). Así, debido a la alta plasticidad que presenta el cultivo se podrían realizar ensayos con DP superiores a las de este estudio y determinar la densidad óptima física es decir la densidad donde el agregado de plantas adicionales no produce un incremento en el rendimiento, ya que incrementos adicionales respecto a este valor óptimo resulta en un rendimiento igual o menor al máximo.

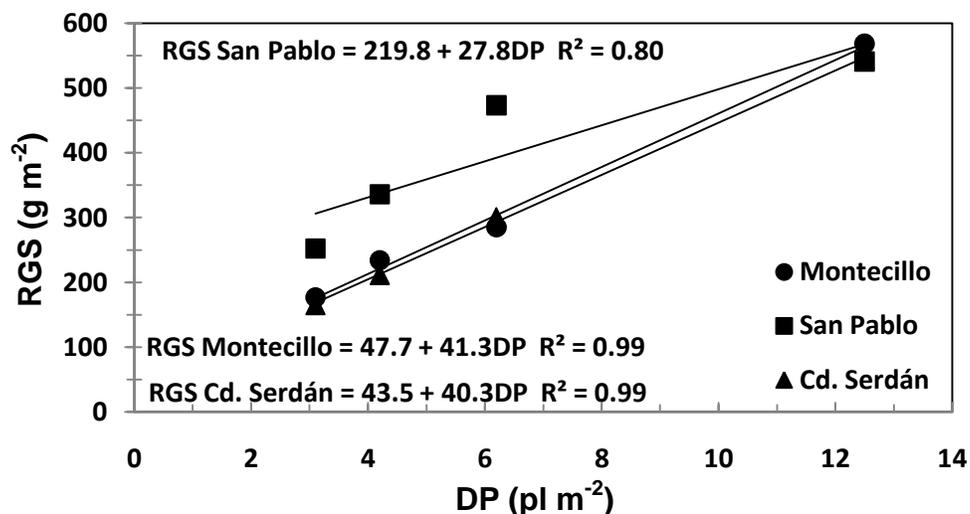


Figura 82. Variación del rendimiento de grano seco (RGS) en función de la densidad de población (DP) para diferentes ambientes.

3.3.11.3. Densidad óptima económica por ambiente (DOE)

En las tres localidades, como se presentó una respuesta lineal positiva entre el RGS y la densidad de población, la DOE fue de 12.5 pl m⁻² (125000 pl ha⁻¹) (Cuadro 16).

Cuadro 16. Densidad óptima económica (DOE) y densidad óptima fisiológica (DOF) en haba. Primavera 2007.

	Montecillo	San Pablo	Cd. Serdán
Ecuación de productividad	RGS = 47.7 + 41.3DP	RGS = 219.8 + 27.8DP	RGS = 43.5 + 40.3DP
Coefficiente de determinación	R ² = 0.99	R ² = 0.80	R ² = 0.99
DOE	12.5 pl m ⁻²	12.5 pl m ⁻²	12.5 pl m ⁻²
Rendimiento DOE	564.1 g m ⁻²	567.3 g m ⁻²	547.3 g m ⁻²
DOF	12.5 pl m ⁻²	12.5 pl m ⁻²	12.5 pl m ⁻²
Rendimiento DOF	564.1 g m ⁻²	564.1 g m ⁻²	564.1 g m ⁻²

3.4. Nitrógeno, fósforo y densidad de población

3.4.1. Rendimiento de vaina verde

En promedio en las tres localidades se encontró un rendimiento (RVV) similar con 1016, 1172 y 1134 g m⁻², en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. Con un peso de vaina (PV) de 7.8, 10.8 y 10.5 g y un número de vainas m⁻² (NV) de 132, 111 y 111, respectivamente. Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el RVV por los tratamientos evaluados. En Montecillo los tratamientos con mayor RVV fueron 132–66–125 (tratamiento 14) y 66–66–125 (17) con 1615 y 1588 g m⁻², respectivamente, superando en 193 y 187% a 0–33–42 (9) que presentó el RVV más bajo con 551 g m⁻² (Cuadro 17). Pilbeam *et al.*, (1993), señalan una mejor asimilación de N con un suministro adecuado de P. El rendimiento más alto encontrado en los tratamientos 14 y 17 se debe al mayor NV por m², siendo de 207 y 195, respectivamente. El coeficiente de correlación entre ambas variables fue de $r=0.91^{**}$, el PV no influyó en el RVV ($r=0.17$), sin embargo registró diferencias significativas entre tratamientos, oscilando entre 8.8 y 6.8 g, para 132–33–62 (6) y 200–66–62 (10), respectivamente.

En San Pablo el RVV máximo se alcanzó con 66–66–125 (17), siendo de 1742 g m⁻², superando por 1014 g m⁻² a 66–66–31 (16) que presentó el rendimiento más bajo (727.3 g m⁻²) (Figura 1b). De igual manera el NV más alto se encontró en el tratamiento 17 con 170 por m², con una alta correlación entre esta variable y el RVV ($r=0.88^{**}$). El PV fue más alto que en Montecillo, con un promedio de 10.8 g, encontrándose los valores más altos y bajos con 12.7 y 9.2 g en 132–66–62 (8) y 66–66–31 (16), respectivamente (Cuadro 17).

Al igual que en Montecillo, Cd. Serdán mostró el mayor RVV con los tratamientos 132–66–125 (14) y 132–66–125 (17), siendo de 2318 y 1950 g m⁻², respectivamente. El RVV más bajo con 655 g m⁻² se encontró en 66–0–42 (Figura 1c). La correlación entre el RVV y NV fue de 83% ($r=0.83^{**}$) y por lo tanto a el tratamiento 14 y 17 correspondieron los valores más altos de NV (200 y 68, respectivamente) (Cuadro 17).

Cuadro 17. Rendimiento de vaina verde (RVV), número de vainas (NV) y peso de vaina (PV) en haba con suministro de nitrógeno (N, kg ha⁻¹) y fósforo (P, kg ha⁻¹) y densidades de población (DP, miles de plantas ha⁻¹) sembrada en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán. Primavera 2007

Tratamiento (N-P-DP)	Montecillo			San Pablo			Cd. Serdán		
	RVV (g m ⁻²)	NV (m ⁻²)	PV (g)	RVV (g m ⁻²)	NV (m ⁻²)	PV (g)	RVV (g m ⁻²)	NV (m ⁻²)	PV (g)
66-33-42	1046.0 bcd ^z	143.9 bcde	7.4 abcd	895.9 fgh	80.0 efg	12.5 ab	786.0 gh	77.2 f	10.8 abc
66-33-62	1489.0 a	177.0 abc	8.4 abc	1176.0 cdfe	110.2 bcdfe	10.7 abc	1772.1 bc	192.8 ab	9.8 abc
66-66-42	804.2 efg	115.9 defg	6.9 cd	970.4 efgh	94.9 defg	10.6 abc	980.4 efgh	86.1 ef	11.4 abc
66-66-62	1085.4 ab	156.8 abcd	7.3 bcd	1400.5 abcd	137.3 ab	10.9 abc	993.2 efgh	107.6 cdef	9.8 abc
132-33-42	1369.9 abc	180.5 abc	7.5 abcd	1108.8 defg	98.7 cdefg	11.6 abc	847.4 fgh	80.6 f	11.4 abc
132-33-62	1301.7 g	146.8 bcde	8.8 a	1296.7 bcde	127.3 bcd	10.3 bc	1160.0 defg	91.9 def	13.2 a
132-66-42	613.0 abcd	81.6 fg	7.5 abcd	1103.0 defg	95.2 defg	11.6 abc	885.2 efgh	80.9 f	10.8 abc
132-66-62	1263.2 g	174.3 abc	7.3 bcd	1495.1 abc	117.8 bcde	12.8 a	1538.7 cd	148.7 bc	10.4 abc
0-33-42	551.0 defg	78.9 g	7.9 abcd	773.0 gh	76.8 g	10.2 bc	758.1 gh	77.2 f	10 abc
200-66-62	905.6 efg	136.1 cdef	6.8 d	1545.4 ab	140.7 ab	11 abc	1262.0 de	129.4 cde	10.1 abc
66-0-42	733.3 defg	87.2 fg	8.5 ab	866.0 fgh	77.5 g	11.5 abc	655.6 h	80.9 f	8.1 c
132-100-62	876.6 defg	116.7 dfeg	7.6 abcd	1398.4 abcd	136.6 abc	10.3 abc	1247.1 def	130.5 cd	9.5 abc
66-33-31	913.6 cgefg	111.8 defg	8.3 abcd	1052.6 defgh	97.6 defg	10.9 abc	803.8 def	68.3 f	12.1 ab
132-66-125	1615.1 a	207.2 a	8.1 abcd	1152.3 cdef	117.1 bcdef	9.9 c	2318.0 a	199.6 a	11.8 abc
66-100-62	661.6 fg	86.2 fg	7.5 abcd	1258.4 bcde	123.2 bcd	10.5 abc	819.3 gh	80.7 f	10.5 abc
66-66-31	716.0 efg	86.2 fg	8.4 abc	727.3 h	79.2 fg	9.2 c	734.7 h	83.4 f	8.8 c
66-66-125	1587.9 a	195.3 ab	8.2 abcd	1741.6 a	170.0 a	10.3 abc	1950.1 ab	191.0 ab	10.7 abc
200-33-32	760.8 efg	100.9 efg	7.5 abcd	1132.1 def	112.1 bcdefg	10.1 bc	902.1 efgh	88.6 def	10.2 abc
Promedio	1016.3	132.4	7.80	1172.0	110.7	10.8	1134.1	110.9	10.5
DSH_{0.05}	390.7	55.7	1.54	353.1	34.0	2.51	411.3	44.1	3.7

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DSH_{0.05}=Diferencia

Significativa Honesta al 5 %

3.4.2. Rendimiento de grano seco y componentes

El rendimiento de grano seco (RGS) presentó diferencias significativas por los tratamientos en las tres localidades evaluadas. En Montecillo el rendimiento máximo (680 y 568 g m⁻²) se mostró con 132–66–125 (14) y 66–66–125 (17) superando a 66–33–31 (13) en 468 y 390% que registró el RGS más bajo con 145 g m⁻². El mayor RGS observado en los tratamientos 14 y 17 se atribuyó al incremento en el peso de vaina (PV) (893 g m⁻²), número de semillas por m² (NS) (656) y acumulación de materia seca total (AMSTO) (1563 g m⁻²) que presentó el tratamiento 14, mientras que el 17 mostró el mayor número de vaina por m² (NV) con 311. El índice de cosecha (IC) en los tratamientos con mayor RGS fue en promedio de 41%, menor al registrado en 132–33–32 (5) que presentó el mayor porcentaje de acumulación de materias seca con respecto a la total con 45% (Cuadro 18). De los componentes que más se relacionaron con el rendimiento fueron: PV ($r=0.99^{**}$), NV ($r=0.89^{**}$), NS ($r=0.80^{**}$) y AMSTO ($r=0.95^{**}$) e IC ($r=0.57^{**}$). El peso de cincuenta semillas (PCS) y número de semillas por vaina (NSV) ($r = 0.06$ y 0.35 , respectivamente) fueron no significativas, sin embargo hay una correlación negativa entre ambas variables ($r =0.57^{**}$).

En San Pablo el RGS y componentes presentaron diferencias por los tratamientos. Así, el RGS más alto con 541 g m⁻² se encontró en 66–66–125 (17) y el más bajo en 0–33–42 (9) (146 g m⁻²). Estos rendimientos se asociaron a cambios en los diferentes componentes de rendimiento. Por ejemplo el tratamiento 17 presentó el mayor PV (733 g m⁻²), NS (731) y AMSTO (1447 g m⁻²), mientras que el tratamiento 9, mostró los valores más bajos de PV (206 g m⁻²), NV (63), AMSTO (461 g m⁻²), IC (31%), PCS (38 g) y NSV (1.8). Los tratamientos 132–66–62 (8), 132–100–62 (12), 66–33–31 (13) y 66–66–62 (4) destacaron por presentar el mayor NV (240), IC (44%), PCS (66.8 g) y NSV (2.7), respectivamente (Cuadro 19). La relación entre el rendimiento y sus componentes fue significativa en el PV ($r=0.99^{**}$), NV ($r=0.79^{**}$), NS ($r=0.81^{**}$), AMSTO ($r=0.92^{**}$) e IC ($r=0.43^{**}$) y no significativa con PCS y NSV ($r=0.026$, 0.26 , respectivamente).

El tratamiento 66–66–125 (17) presentó el RGS más alto en Cd. Serdán con 545 (g m⁻²) superando en 336% a el tratamiento 66–33–31 (13) que mostró el RGS más bajo con 162 g m⁻². Además, el tratamiento 17 sobresalió por el mayor PV (775 g m⁻²), NV (255), NS (547) y AMSTO (1539 g m⁻²). Mientras que el tratamiento 66–33–42 (1), 200–33–42 (18) y 132–33–42 (5) por el IC (44%), PCS (86.8 g) y NSV (2.47), respectivamente. El tratamiento 13 presentó los valores más bajos de PSV (224) y AMSTO (449.6 g m⁻²). A pesar de que el tratamiento 18 mostró el mayor PCS, registró los valores más bajos en el NV (57), NS (107) e IC (35%) (Cuadro 20). Los componentes que más se relacionaron con el RGS fueron PV, NV, NS, AMST e IC ($r = 0.99^{**}$, 0.87^{**} , 0.96^{**} y 0.40^{**} , respectivamente).

3.4.3. Funciones de producción

Los modelos finales de regresión obtenidos con los procedimientos de regresión estudiados como: prueba de modelos de regresión (PMR), regresión progresiva (FORWARD), eliminación de variables hacia atrás (BACKWARD), regresión por pasos (STEPWISE) y regresión de máximo incremento del R² (MAXR), se presentan en el Cuadro 21, indicando las variables con sus respectivos exponentes y el signo que expresa su tipo de efecto, el cuadrado medio de desviaciones de la regresión (CMDR) y el coeficiente de determinación (R²) para cada una de las localidades.

En cuanto al signo, las ordenadas a origen tienen signo negativo. Esto se debe a que las funciones de producción se estimaron a partir de un origen igual a cero para algunos o todos los insumos. De acuerdo al Cuadro 21, tanto en modelo, CMDR y R² de estos se observaron diferencias. En todos los experimentos el menor CMDR y algunas ocasiones el mayor coeficiente de determinación se observó por el procedimiento BACKWARD indicando que desde el punto de vista del CMDR sería satisfactorio.

Cuadro 18. Rendimiento y algunos componentes con suministro de nitrógeno (N, kg ha⁻¹) y fósforo (P, kg ha⁻¹) y densidad de población (DP, miles de plantas ha⁻¹) en haba. Montecillo. Primavera 2007.

Tratamiento (N-P-DP)	RGS (g m ⁻²)	NV (m ²)	PV (g m ⁻²)	NS (m ²)	PCS (g)	NSV	AMSTO (g m ⁻²)	IC (%)
66-33-42	319 def	126 cdefg ^z	446 edf	294 bcd	54.4 cde	2.40 ab	743 def	43.8 a
66-33-62	396 bcd	120 defgh	554 bcd	282 cde	82.6 a	2.28 abc	961 cd	40.7 abc
66-66-42	211 fgh	85 ghi	288 gh	166 fg	65.2 bc	1.93 cdef	541 fgh	39.2 abc
66-66-62	300 dfeg	145 bddef	410 defg	330 bc	45.4 e	2.28 abc	797 de	36.5 cb
132-33-42	266 efgh	109 fgh	362 efgh	270 cdef	53.1 cde	2.48 a	660 efgh	39.7 abc
132-33-62	436 abc	158 bcde	628 abc	336 bc	65.5 bc	2.13 abcde	1035 c	42.4 ab
132-66-42	237 efgh	113 efgh	323 fgh	200 defg	61.8 bcde	1.73 f	636 efgh	37.0 bc
132-66-62	397 bcd	171 bc	554 bcd	314 bc	63.5 bcd	1.88 def	1029 c	38.6 abc
0-33-42	248 efgh	97 fghi	353 efgh	247 defg	53.4 cde	2.48 a	635 efgh	38.0 abc
200-66-62	513 a	177 b	724 a	400 b	64.5 bcd	2.28 abc	1261 b	40.7 abc
66-0-42	240 efgh	100 fghi	335 efgh	246 cdef	49.0 cde	2.48 a	669 efg	36.0 c
132-100-62	347 cde	136 bcdef	484 cde	273 cdef	63.8 bcd	2.00 cdef	924 cd	37.6 bc
66-33-31	162 h	72 hi	224 h	129 g	62.1 bcde	1.80 ef	450 h	35.4 c
132-66-125	485 ab	165 bcd	692 ab	326 bc	74.6 ab	2.08 bcdef	1372 ab	35.5 c
66-100-62	208 gh	82 ghi	289 gh	190 defg	58.1 bcde	2.28 abc	570 fgh	36.2 c
66-66-31	165 h	83 ghi	230 h	176 efg	47.9 de	2.2 abcd	468 gh	35.6 c
66-66-125	545 a	255 a	775 a	543 a	50.5 cde	2.13 abcde	1539 a	35.0 c
200-33-32	171 h	57 i	236 h	107 g	86.8 a	1.8 ef	480 gh	34.9 c
Promedio	314	125	439	268	61.2	2.15	821	37.9
DSH_{0.05}	110.2	48.0	155.6	109.1	17.0	0.40	219.0	6.1

NV: número de vainas, PV: peso de vainas, NS: número de semillas, PCS: peso de cincuenta semillas, NSV: número de semillas por vaina, AMSTO: acumulación de materia seca total, RGS: rendimiento de grano seco e IC: índice de cosecha.

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

Cuadro 19. Rendimiento y algunos componentes con suministro de (N, kg ha⁻¹) y fósforo (P, kg ha⁻¹) y densidad de población (DP, miles de plantas ha⁻¹) en haba. San Pablo. Primavera 2007.

Tratamiento (N-P-DP)	RGS (g m ⁻²)	NV (m ²)	PV (g m ⁻²)	NS (m ²)	PCS (g)	NSV	AMSTO (g m ⁻²)	IC (%)
66-33-42	225 fgh	93 ef ^z	314 fgh	194 ef	59.5 a	2.1 bcde	631 fghi	35.5 cdefg
66-33-62	369 cd	174 bcd	488 cde	351 cd	55.1 ab	2 bcde	1022 bc	36.2 bcdefg
66-66-42	234 efgh	117 def	319 fgh	227 def	53.3 ab	1.95 bcde	570 ghi	41.1 abcd
66-66-62	285 defg	147 cde	371 efg	263 def	58.1 ab	1.8 cde	798 def	36.2 bcdef
132-33-42	329 de	141 cde	441 def	294 def	56.3 ab	2.25 abcd	721 efg	44.8 a
132-33-62	368 cd	175 bcd	475 cde	353 cd	55.9 ab	2 bcde	944 bcd	39.1 abcde
132-66-42	210 gh	121 def	282 gh	274 def	45.5 ab	2.2 abcde	617 fghi	33.8 defg
132-66-62	461 c	225 b	587 c	604 ab	39.9 b	2.7 a	1062 b	43.6 ab
0-33-42	170 h	106 ef	229 h	235 def	38.9 b	2.3 abcd	598 fghi	28.3 g
200-66-62	318 def	139 cde	424 def	334 cde	47.7 ab	2.45 ab	839 cde	38.1 abcdef
66-0-42	160 h	67 f	213 h	169 f	52.2 ab	2.45 ab	502 hi	31.9 efg
132-100-62	379 cd	191 bc	520 cd	464 bc	42ab	2.4 ab	999 bc	37.7 abcdef
66-33-31	145 h	70 f	196 h	157 f	48.9 ab	2.25 abcd	432 i	33.2 defg
132-66-125	680 a	288 a	893 a	656 a	55 ab	2.25 abcd	1564 a	43.2 abc
66-100-62	204 hg	93 ef	273 gh	195 ef	56.7 ab	2.05 bcde	607 fghi	33 efg
66-66-31	177 h	93 ef	236 h	215 def	42.1 ab	2.35 abc	452 1	39.1 abcde
66-66-125	568 b	311 a	733 b	538 ab	55.5 ab	1.75de	1499 a	37.9 abcdef
200-33-32	203 hg	105 ef	285 gh	172 f	60.2 a	1.65 e	672 efgh	30.8 fg
Promedio	305	148	404	316	51.3	2.16	807	36.9
DSH_{0.05}	98.1	63.1	133.3	149.7	19.5	0.56	200.9	8.0

NV: número de vainas, PV: peso de vainas, NS: número de semillas, PCS: peso de cincuenta semillas, NSV: número de semillas por vaina, AMSTO: acumulación de materia seca total, RGS: rendimiento de grano seco e IC: índice de cosecha.

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

Cuadro 20. Rendimiento y algunos componentes con suministro (N, kg ha⁻¹) y fósforo (P, kg ha⁻¹) y densidad de población (DP, miles de plantas ha⁻¹) en haba. Cd. Serdán. Primavera 2007.

Tratamiento (N-P-DP)	RGS (g m ⁻²)	NV (m ²)	PV (g m ⁻²)	NS (m ²)	PCS (g)	NSV	AMSTO (g m ⁻²)	IC (%)
66-33-42	256 fghi	101 fg ^z	347 efg	322 efgh	40.3 ed	2.15 abcde	705 ghij	37.2 abc
66-33-62	427 abcd	177 abcd	579 abcd	545 abc	45.3 cde	2.05 bcde	1087 cde	39.1 ab
66-66-42	336 defg	142 def	463 cde	341 defgh	48.7 abcde	2.4 abcd	865 efg	38.5 abc
66-66-62	473 abc	230 ab	657 ab	371 efgh	64.3 abc	2.65 a	1168 bc	40.6 ab
132-33-42	288 efgh	143 def	408 def	307 efgh	47.4 abcde	2 cde	753 ghi	38.7 abc
132-33-62	401 bcde	174 abcde	555 bcd	423 bcdfgh	52 abcde	2.3 abcde	1032 cdef	38 abc
132-66-42	348 cdefg	161 cdef	478 cde	298 fgh	59.6 abcd	2.55 abc	815 fgh	42.7 a
132-66-62	496 ab	240 a	692 ab	446 bcdef	65.9 ab	2.6 ab	1166 bc	42.9 a
0-33-42	146 i	63 g	206 g	194 h	37.5 e	1.8 e	462 j	31.2 c
200-66-62	461 abcd	165 bcdef	620 abc	505 bcde	46.1 bcde	2.55 abc	1136 cd	40.4 ab
66-0-42	228 hig	104 fg	316 efg	270 fgh	45 cde	1.95 de	665 ghij	34.1 bc
132-100-62	518 ab	218 abc	700 ab	524 bcd	49.7 abcde	2.4 abcd	1170 bc	44.2 a
66-33-31	218 hi	109 efg	283 fg	171 h	66.8 a	2.6 ab	532 ij	40.5 ab
132-66-125	492 ab	197 abcd	674 ab	624 ab	41.1 de	2.15 abcde	1408 ab	34.6 bc
66-100-62	365 cdef	140 def	482 cde	425 bcdefg	45.2 cde	2.35 abcde	883 defg	41.8 ab
66-66-31	252 fghi	108 efg	345 efg	235 gh	54.1 abcde	2.5 abcd	589 hij	42.6 a
66-66-125	541 a	195 abcd	733 a	731 a	39.2 e	2.15 abcde	1447a	37.9 abc
200-33-32	346 defg	178 abcd	474 cde	304 efgh	57.5 abcde	2.3 abcde	867 efg	40 ab
Promedio	366	158	501	391	50.3	2.30	931	39.2
DSH_{0.05}	127.0	68.0	172.1	203.2	20.1	0.56	266.2	7.8

NV: número de vainas, PV: peso de vainas, NS: número de semillas, PCS: peso de cincuenta semillas, NSV: número de semillas por vaina, AMST: acumulación de materia seca total, RGS: rendimiento de grano seco e IC: índice de cosecha.

^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05.

DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

El CMDR corresponde a la suma de los cuadrados de las diferencias entre los cuadrados entre los valores observados y estimados de rendimiento de grano seco dividida entre los grados de libertad residuales; es lógico establecer que mientras más pequeño es el valor del CMDR de un determinado modelo de regresión, mejor es el ajuste del modelo a los datos experimentales, menor es el sesgo y mejor es la explicación que dicho modelo hace al fenómeno que se está estudiando. Así, es posible que en lugar del R^2 , el menor CMDR sea un criterio más adecuado para la elección del mejor modelo para un sitio experimental.

3.4.4. Tratamiento óptimo económico

De acuerdo al análisis económico con capital ilimitado (cuando no hay restricciones de capital por parte del agricultor) el tratamiento con mayor ingreso neto (IN) fue 132–66–125, 66–66–125 y 66–66–125 para Montecillo (Cuadro 22), San Pablo (Cuadro 23) y Cd. Serdán (Cuadro 24) con un IN de \$127281, \$100223 y \$111995, respectivamente. Los IN más bajos se obtienen sin el suministro de N o P o bien con densidad de población más baja.

3.4.5. Dosis óptima económica

Las dosis óptimas económicas estimadas con el mejor modelo de regresión (BACKWARD para las tres localidades) fueron 140–55–121, 95–100–106 y 30–20–131, para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente.

Cuadro 21. Modelos de regresión para el rendimiento de grano seco de haba (RGS, kg ha⁻¹) y sus correspondientes cuadrados medios de desviaciones de regresión (CMR) y coeficientes de determinación (R²) obtenidos por diferentes procedimientos. Primavera, 2007.

Localidad	Procedimiento	Ecuación	CMDR	R ²
Montecillo	PMR	RGS=-993.50+2.14N+47.38D+0.0516N ² -0.132NP+0.137ND+1.135PD +0.0099NP ² -0.0033N ² P-0.000027N ² D-0.021P ² D	367331	0.864
	FORWARD	RGS=467.03+19.04D+0.489ND-0.0018N ² D	413368	0.830
	BACKWARD	RGS=-2437.88+ 52.88P+96.62D-0.502P ² +0.358NP-0.916PD+0.0040NP ² -0.0030N ² P+0.00072N ² D	350868	0.865
	STEPWISE	RGS=467.033+19.04D+0.489ND-0.0018N ² D	413368	0.830
	MAXR	RGS=-1071.16+53.89D+0.049N ² +0.124ND+0.903PD+0.0087NP ² -0.0033N ² P	350349	0.864
San Pablo	PMR	RGS=-1439.30+0.160N ^{0.75} +5.51P+94.78D+0.217N ^{1.5} +2.453N ^{0.75} P-0.437N ^{0.75} D-0.024N ^{1.5} P-0.831PD	684630	0.691
	FORWARD	RGS=-1887.88+39.87N ^{0.75} +27.58P+85.35D-0.373N ^{1.5} +0.832N ^{0.75} P-0.777PD-0.007N ^{1.5} D	676357	0.690
	BACKWARD	RGS=-472.08+66.67D+2.18N ^{0.75} P-0.0231N ^{1.5} P-0.5959PD	655447	0.690
	STEPWISE	RGS=121.253+33.005N ^{0.75} +15.839P+30.042D	699078	0.660
	MAXR	RGS=-1091.27+89.552D+2.520N ^{0.75} P-0.3458N ^{0.75} D-0.023N ^{1.5} P-0.7954PD	657366	0.690
Cd. Serdán	PMR	RGS=-23441+3779.33N ^{0.5} +1798.58P ^{0.75} +179.95D-174.87N-17.49P ^{1.5} -286.26N ^{0.5} P ^{0.75} +1.93N ^{0.5} P ^{1.5} +11.99NP ^{0.75} -2.29N ^{0.5} D-5.416P ^{0.75} D	620409	0.715
	FORWARD	RGS=-14008+2336.96N ^{0.5} +851.15P ^{0.75} +185.54D-134.89N-155.25N ^{0.5} P ^{0.75} +9.309NP ^{0.75} -3.17N ^{0.5} D -5.313P ^{0.75} D	626936	0.703
	BACKWARD	RGS=-25279+4123.99N ^{0.5} +2048.46P ^{0.75} +156.82D-186.92N-20.99P ^{1.5} -33.46N ^{0.5} P ^{0.75} +2.35N ^{0.5} P ^{1.5} +12.80NP ^{0.75} -5.350P ^{0.75} D	620217	0.711
	STEPWISE	RGS=717.77+3.879N+36.087D	884719	0.541
	MAXR	RGS=-2403.43+191.46D-27.004N+1878N ^{0.5} P ^{0.75} -0.193N ^{0.5} P ^{1.5} +1.48NP ^{0.75} -3.829N ^{0.5} D-5.370P ^{0.75} D	656544	0.690

N: nitrógeno (kg ha⁻¹), P: fósforo (kg ha⁻¹) y D: densidad de población (miles de plantas ha⁻¹)

Cuadro 22. Rendimiento de grano seco (RGS), costos e ingreso neto para haba con suministro de nitrógeno (N, kg ha⁻¹) y fósforo (P, kg ha⁻¹) y densidades de población (DP, miles de plantas ha⁻¹). Montecillo. Primavera, 2007.

Tratamiento (N-P-DP)	RGS (kg ha ⁻¹)	Ingreso total (\$)	Costos fijos (\$)	Costos variables (\$)	Costos totales (\$)	Ingreso neto (\$)
132-66-125	6797	135945	4400	5263.4	9663.4	126281.6
66-66-125	5685	113690	4400	4563.8	8963.8	104726.2
132-66-62	4611	92225	4400	3688.4	8088.4	84136.6
132-100-62	3791	75825	4400	4069.2	8469.2	67355.8
66-33-62	3691	73815	4400	2619.2	7019.2	66795.8
132-33-62	3684	73685	4400	3318.8	7718.8	65966.2
132-33-42	3289	65770	4400	2818.8	7218.8	58551.2
200-66-62	3181	63610	4400	4409.2	8809.2	54800.8
66-66-62	2851	57010	4400	2988.8	7388.8	49621.2
66-66-42	2341	46810	4400	2488.8	6888.8	39921.2
66-33-42	2246	44920	4400	2119.2	6519.2	38400.8
132-66-42	2101	42020	4400	3188.4	7588.4	34431.6
66-100-42	2038	40765	4400	2869.6	7269.6	33495.4
200-33-42	2032	40630	4400	3539.6	7939.6	32690.4
66-66-31	1769	35370	4400	2213.8	6613.8	28756.2
0-33-42	1697	33935	4400	1419.6	5819.6	28115.4
66-0-42	1595	31900	4400	1749.6	6149.6	25750.4
66-33-31	1454	29080	4400	1844.2	6244.2	22835.8

Ingreso total=RGS*precio haba (\$20 kg), Costos fijos=preparación terreno (\$1900)+ deshierbe (\$500)+aplicación fertilizante (\$1000)+siembra (\$1000), costos variables=nitrógeno (10.6 kg)+fósforo (11.2 kg)+densidad (\$25, mil plantas), costos totales=costos fijos+costosvariables y ingreso neto=ingreso total–costos totales.

Cuadro 23. Rendimiento de grano seco (RGS), costos e ingreso neto para haba con suministro de nitrógeno (N, kg ha⁻¹) y fósforo (P, kg ha⁻¹) y densidades de población (DP, miles de plantas ha⁻¹). San Pablo. Primavera, 2007.

Tratamiento (N-P-DP)	RGS (kg ha ⁻¹)	Ingreso total (\$)	Costos fijos (\$)	Costos variables (\$)	Costos totales (\$)	Ingreso neto (\$)
66-66-125	5409	108187.5	4400	4563.8	8963.8	99223.7
132-100-62	5185	103695	4400	4069.2	8469.2	95225.8
132-66-62	4958	99169	4400	3688.4	8088.4	91080.6
132-66-125	4922	98437.5	4400	5263.4	9663.4	88774.1
66-66-62	4734	94674	4400	2988.8	7388.8	87285.2
200-66-62	4607	92132	4400	4409.2	8809.2	83322.8
66-33-62	4266	85312	4400	2619.2	7019.2	78292.8
132-33-62	4013	80259	4400	3318.8	7718.8	72540.2
66-100-42	3646	72912	4400	2869.6	7269.6	65642.4
132-66-42	3481	69615	4400	3188.4	7588.4	62026.6
200-33-42	3458	69153	4400	3539.6	7939.6	61213.4
66-66-42	3360	67200	4400	2488.8	6888.8	60311.2
132-33-42	2883	57666	4400	2818.8	7218.8	50447.2
66-33-42	2557	51135	4400	2119.2	6519.2	44615.8
66-66-31	2523	50452.5	4400	2213.8	6613.8	43838.7
66-0-42	2280	45591	4400	1749.6	6149.6	39441.4
66-33-31	2181	43617	4400	1844.2	6244.2	37372.8
0-33-42	1464	29274	4400	1419.6	5819.6	23454.4

Ingreso total=RGS*precio haba (\$20 kg), Costos fijos=preparación terreno (\$1900)+ deshierbe (\$500)+aplicación fertilizante (\$1000)+siembra (\$1000), costos variables=nitrógeno (10.6 kg)+fósforo (11.2 kg)+densidad (\$25, mil plantas), costos totales=costos fijos+costosvariables y ingreso neto=ingreso total–costos totales.

Cuadro 24. Rendimiento de grano seco (RGS), costos e ingreso neto para haba con suministro de nitrógeno (N, kg ha⁻¹) y fósforo (P, kg ha⁻¹) y densidades de población (DP, miles de plantas ha⁻¹). Cd. Serdán. Primavera. 2007.

Tratamiento (N-P-DP)	RGS (kg ha ⁻¹)	Ingreso total (\$)	Costos fijos (\$)	Costos variables (\$)	Costos totales (\$)	Ingreso neto (\$)
66-66-125	5450	119900	4400	4504.4	8904.4	110995.6
200-66-62	5134	112939.2	4400	4323	8723	104216.2
132-66-125	4850	106700	4400	5190.8	9590.8	97109.2
132-33-62	4357	95855.1	4400	3269.3	7669.3	88185.8
66-33-62	3960	87125.5	4400	2582.9	6982.9	80142.6
132-66-62	3970	87330.1	4400	3615.8	8015.8	79314.3
132-100-62	3466	76247.6	4400	3972.8	8372.8	67874.8
66-33-42	3189	70154.7	4400	2082.9	6482.9	63671.8
66-66-62	3004	66085.8	4400	2929.4	7329.4	58756.4
132-33-42	2664	58604.7	4400	2769.3	7169.3	51435.4
0-33-42	2484	54654.6	4400	1396.5	5796.5	48858.1
66-0-42	2403	52875.9	4400	1736.4	6136.4	46739.5
132-66-42	2371	52159.8	4400	3115.8	7515.8	44644
66-66-42	2115	46523.4	4400	2429.4	6829.4	39694
66-100-42	2084	45853.5	4400	2786.4	7186.4	38667.1
200-33-42	1709	37606.8	4400	3476.5	7876.5	29730.3
66-66-31	1648	36265.35	4400	2154.4	6554.4	29710.95
66-33-31	1620	35634.5	4400	1807.9	6207.9	29426.6

Ingreso total=RGS*precio haba (\$22 kg), Costos fijos=preparación terreno (\$1900)+ deshierbe (\$500)+aplicación fertilizante (\$1000)+siembra (\$1000), costos variables=nitrógeno (10.4 kg)+fósforo (10.5 kg)+densidad (\$25, mil plantas), costos totales=costos fijos+costosvariables y ingreso neto=ingreso total–costos totales.

IV. DISCUSIÓN GENERAL

Un manejo óptimo de la fertilización permite una mayor eficiencia de los recursos básicos para el crecimiento y rendimiento de los cultivos. El nitrógeno (N) es el segundo factor limitante en la producción de los cultivos después del agua. Los resultados de esta investigación demuestran que el N estimula el crecimiento ya que afectó la altura de planta (AP), número de nudos (NN) y número de tallos (NT). En Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán la AP, NN y NT se incrementaron a través del ciclo de cultivo. Resultados similares encontraron Guadarrama (2002) y Pichardo (2005). A los 156 días después de la siembra (dds) en Montecillo y San Pablo la AP, NN y NT fueron más altos con N2 y N4, respectivamente (Cuadro 1 y 2 Apéndice), mientras que en Cd. Serdán a los 127 fue con N2 (Cuadro 3 Apéndice). Morales (2005) encontró una disminución en la AP y NN en frijol con dosis elevadas de N, debido a una menor fijación de N atmosférico. Así mismo, con el suministro de N fue más alta la tasa de aparición foliar (TAF) y tasa de expansión filiar (TEF) (Figura 9A B y C y Cuadro 3) modificando el área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) y duración del área foliar total (DAFT). Cambios en el dosel vegetal inducidos por el N incrementaron la intercepción de radiación (RI), tal como lo muestra la relación alta con el IAF ($R^2=0.83$), AF ($R^2=0.86$) y DAFT ($R^2=0.71$) (Figura 17A B, C y D). El tratamiento que mostró los valores más altos de los parámetros antes mencionados, presentó variación entre localidades. En Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán fue con N3, N4 y N2, respectivamente. La mayor RI ($R^2=0.87$) y DAFT ($R^2=0.95$) propiciaron una acumulación de materia seca total (AMSTO) a la madurez fisiológica más alta (Figura 23), siendo de 721, 867 y 743 g m⁻² con N3, N4 y N2 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Figura 18, 19 y 20). La mayor proporción de materia seca (MS) en los tratamientos sin N se encontró en el tallo y fue menor en la semilla, por lo tanto el N estimuló la translocación de MS hacia este órgano (Cuadro 4). Resultados similares reportan Guadarrama (2002) y Pichardo *et al.* (2007). El rendimiento de grano seco (RGS) es un conjunto de distintos componentes que se van generando durante el desarrollo del cultivo. Durante la etapa vegetativa el IAF máximo ($R^2=0.85$) y DAFT

($R^2=0.88$) (Figura 27A y B) fueron los principales componentes que lo afectaron como lo mencionan Minguez *et al.* (1993) y De Costa *et al.* (1997) al encontrar la mayor relación del RGS con el IAF y DAFT. Así, el RGS más alto fue en los tratamientos con mayor IAF y DAFT siendo de 329, 346 y 319 g m⁻² para N3, N4 y N2, en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Figura 26A B y C). En la etapa reproductiva el número de semillas (NS) ($R^2=0.92$), número de semillas por vaina (NSV) ($R^2=0.95$) y peso de cincuenta semillas (PCS) ($R^2=0.80$) influyen mayormente en el RGS (Figura 25A B y C). A su vez el NS depende de la tasa de crecimiento de semilla ($R^2=0.93$) (Figura 22B), mientras que el PCS de la tasa de crecimiento individual de semilla ($R^2=0.93$) (Figura 22C). Aunque los rendimientos más altos se encontraron con 132 (N3), 200 (N4) y 66 (N2) kg N ha⁻¹ en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Figura 26A B y C), la máxima eficiencia económica (MEE) se encontró con 94, 200 y 55 kg N ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 6).

El suministro de fósforo (P) sobre el desarrollo de los cultivo ha sido menos estudiado que el efecto del N. El P incrementó la AP, NN y NT, sin embargo la dosis que mostró los valores máximos fue diferente para cada localidad. En Montecillo y San Pablo se encontró con P4 mientras que en Cd. Serdán correspondió a P2 (Cuadro 8, 9 y 10 Apéndice). El P incrementa el crecimiento vegetal debido a una mayor actividad meristemática como consecuencia de una síntesis de macromoléculas más alta (Ahmed y El-Abagy, 2007; Karamanos y Giménez, 1991). Sin embargo dosis elevadas de P puede provocar toxicidad en la planta (Bolland *et al.*, 2000). El P es parte de enzimas fotosintéticas (RUBISCO, PEP carboxilasa) y por lo tanto mejora la formación de frutos, lo anterior se observó en el mayor NV que se encontró con P2, P4 y P3 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadro 14 Apéndice), siendo estos mismos tratamientos donde se encontró el RVV más alto con 1046, 1258 y 980 g m⁻², respectivamente (Cuadro 14 Apéndice). El RGS mostró un comportamiento similar (Figura 51A B y C). En Montecillo el RGS más alto (234 g m⁻²) se registró con P3 superando en 23% al testigo (Figura 51A). El mayor rendimiento se atribuye al incremento en el NV y NS m⁻² (Cuadro 10), provocado por una mayor translocación de fotoasimilados que provienen de la fijación de CO₂. Una superficie foliar más alta

medida a través del AF e IAF generó una mayor intercepción de radiación (Figura 42A y B) favoreciendo la fotosíntesis. Así con P3 se alcanzó durante el ciclo del cultivo el 100% de RI (Figura 41A) con un AF de 18730 cm² (Cuadro 8) e IAF de 7 (Figura 38A). Lo anterior, se reflejó en la mejor partición de fotoasimilados hacia los granos como se observa en el IC más alto que se generó en este tratamiento en comparación con P1, P2 y P4 (Cuadro 10). En San Pablo la relación entre el P y RGS fue lineal con un incremento de 15 kg de semilla por kg de P (Figura 51B). El mayor RGS en P4 (365 g m⁻²) se asocia aun mayor IAF (Figura 38B) y RI (Figura 41B) que se presentó a los 127 dds generando un incremento en el NV, PCS, NV, NSV (Cuadro 10) y AMSTO, así como una mayor distribución de materia seca en la semilla (Cuadro 9). Cd. Serdán fue la localidad con menor respuesta a la fertilización fosfatada ya que el RGS más alto se encontró con P2 con 319 g m⁻² (Figura 51C). El NV, NS, NSV, AMSTO e IC (Cuadro 10) influyeron en el RGS debido a una mayor RI provocada por el incremento en el AF (Cuadro 8), IAF (Figura 38C) y DAFT (Cuadro 10 Apéndice). Los resultados indican que a mayor estructura foliar mayor es el RGS. Sin embargo, un IAF y DAFT altos disminuyen el rendimiento (Figura 52A y B), debido posiblemente a que las hojas inferiores no reciben luz suficiente y se incrementa la respiración. Así, con los datos obtenidos en las tres localidades se encontró un IAF óptimo de 4.5 con una DAF de 290 días para obtener los rendimientos más altos. Valores de IAF óptimo entre 4 y 5 reportan Garner *et al.* (1985) y Dantuma y Thompson (1993), mientras que Mínguez *et al.* (1993) encontraron una DAF óptima entre los 150 y 300 días. Analizando mediante curvas de respuesta en el RGS se encontró la MEE de 48, 100 y 21 kg P ha⁻¹ para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Cuadro 11)

La densidad de población (DP) es una de las prácticas que optimizan la productividad de los sistemas agrícolas. A través de ésta el productor puede asegurar coberturas vegetales adecuadas para obtener el máximo rendimiento. En Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán el aumento de la DP ocasionó plantas de mayor altura (Figura 55A B y C). Thalji (2006) y Sharaan *et al* (2004), mencionan que densidades altas inducen una mayor competencia por luz estimulando el desarrollo vertical del tallo. Sin embargo, el NN, NT, NH y AF por planta disminuyeron con densidades altas (Cuadro 15, 16 y 17

Apéndice). El menor NH y AF se relacionaron con cambios en la tasa de aparición foliar (Figura 59A B y C) y tasa de expansión foliar (Cuadro 13) ocasionada por la competencia entre plantas por los recursos esenciales como agua, luz y nutrientes. El menor crecimiento vegetativo ocasionó una AMSTO por planta más baja. La caída en la materia seca total fue aproximadamente de 2.4, 9.1 y 2.1 g planta⁻¹ al aumentar la DP de 3.1 a 12.5 plantas m⁻², en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Figura 73A B y C). Dentro de los rangos estudiados, incrementos en el número de plantas por unidad de superficie aumentaron el IAF (Figura 62A B y C) y la RI (Figura 65A B y C). Para el haba la relación entre la RI y el IAF es curvilínea (Figura 66B). A bajos niveles de IAF un incremento de mismo provoca un aumento de RI. Por encima de ciertos valores, un incremento similar en el IAF corresponde a cambios poco significativos en la RI. La relación con el número de foliolulos por m⁻² y DAFT fue similar (Figura 66A y C). La elevada dependencia de la AMSTO en función de la RI ($R^2=0.80$) y DAFT ($R^2=0.76$) (Figura 72) generó que en D4 se encontrara la mayor AMSTO por unidad de superficie con 1499, 1825 y 1539 g m⁻² en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán superando en 70, 59 y 70% a D1 respectivamente (Figura 67, 68 y 69). Resultados similares han sido observados por Al-Rifae *et al.* (2004) y Matthews *et al.* (2008). El mayor número de plantas m⁻² incrementaron el NV que es el componente más relacionado con el RVV (Figura 5C, Capítulo I) y por lo tanto el RVV fue mayor al aumentar la DP, siendo con D4 de 1588, 1742 y 1950 g m⁻² en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Figura 74A, B y C). De los componentes morfológicos y fisiológicos que más influyeron en el RGS fueron el IAF máximo y NS m⁻² ($R^2=0.82$ y 0.98, respectivamente) (Figura 78A y 80A), densidades elevadas influyen en estos componentes (Cuadro 4 y Cuadro 15, 16 y 17 Apéndice). Así, con D4 el RGS por unidad de superficie fue más alto, encontrándose 569, 401 y 545 g m⁻², en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente (Figura 77A B y C). Puesto que en las tres localidades se presentó una relación lineal entre el RGS y el número de plantas por superficie (Figura 77A B y C) la densidad óptima promedio (Figura 81), densidad óptima fisiológica (Cuadro 16) y densidad óptima económica (Cuadro 16) fue de 125,000 plantas ha⁻¹ (12.5 plantas m⁻²). Debido a la alta plasticidad que presenta el cultivo se podrían realizar ensayos con DP superiores a las de este estudio y

determinar la densidad óptima física es decir la densidad donde el agregado de las plantas no producen un incremento en el RGS.

De todas la formulas de fertilización evaluadas el mayor RVV y RGS en Montecillo fue con 132–66–125 N–P–DP (Cuadro 17 y 18) y en San Pablo con 66–66–125 N–P–DP (Cuadro 17 y 19). En Cd. Serdán los rendimientos más altos se presentaron en diferentes tratamientos el RVV en 132–66–125 N–P–DP (Cuadro 17) y el RGS en 66–66–125 N–P–DP (Cuadro 20). El tratamiento óptimo económico para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán se encontró con 132–66–125 N–P–DP (Cuadro 22), 66-66-125 N–P–DP (Cuadro 23) y 66-66-125 N–P–DP (Cuadro 24), respectivamente. Mientras que las dosis óptimas económicas estimadas con el mejor modelo de regresión (BACKWARD para las tres localidades) (Cuadro 21) fueron 140–55–121, 95–100–106 y 30–20–131 N–P–DP, para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente.

V. CONCLUSIONES

Para nitrógeno:

1. El nitrógeno (N) afectó la altura de planta (AP), número de nudos (NN) y número de tallos (NT). Los valores más altos se encontraron con N2 en Montecillo y Cd. Serdán y con N4 en San Pablo. El mayor crecimiento (índice de área foliar, IAF) y duración foliar (DAFT) modificaron la interceptación de radiación y por lo tanto la acumulación de materia seca total (AMSTO).
2. La dosis que mostró la mayor AMSTO fue diferente entre localidades. Siendo con N3, N4 y N2 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. El N estimuló la translocación de materia seca a la semilla incrementándose la tasa de crecimiento de semilla (TCS), tasa de crecimiento individual de semilla (TCIS), índice de partición (IP) e índice de cosecha (IC).
3. Dosis elevadas de N favorecieron la formación de frutos verdes generando un rendimiento de vaina verde (RVV) más alto. En San Pablo y Cd. Serdán se encontró con N4 mientras que en Montecillo correspondió a N3.
4. El modelo matemático que mejor representó el rendimiento de grano seco (RGS) en función del suministro de N fue lineal para San Pablo y cuadrático para Montecillo y Cd. Serdán. Así, dosis por encima de N3 en Montecillo y N2 en Cd. Serdán afectan el crecimiento y productividad del cultivo de haba.
5. En Montecillo la máxima eficiencia biológica (MEB) y máxima eficiencia económica (MEE) estimadas fueron de 120 y 94 kg N ha⁻¹ con una productividad de 300 y 293 g m⁻², respectivamente. San Pablo respondió biológicamente y económicamente a 200 kg N ha⁻¹ con un RGS de 355 g m⁻². Cd. Serdán presentó

la MEB y MEE más baja con 79 y 55 kg N ha⁻¹ y un RGS de 309 y 304 g m⁻², respectivamente.

Para fósforo:

6. El crecimiento y RGS de haba mostró variación en función del suministro de fósforo (P). La mayor AP, NN y NT se encontró con dosis elevadas (P4) en Montecillo y San Pablo. Cd. Serdán respondió favorablemente a bajas dosis (P2). El P incrementó el desarrollo vegetativo estimado por el IAF y DAF debido a una mayor tasa de aparición foliar (TAF), tasa de expansión foliar (TEF) y menor tasa relativa de senescencia (TRS) de los 127 a los 156 días después de la siembra (dds).
7. El mayor crecimiento foliar con el suministro de P modificó la radiación interceptada (RI) y AMSTO. El valor más alto para ambos caracteres se encontró con P3, P4 y P2 en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. Los tratamientos sin aplicación de P presentaron la mayor acumulación de materia seca (AMS) en el tallo y por lo tanto en la semilla fue menor como se observa en la TCS, IR, IP e IC más bajos.
8. La aplicación de P2, P4 y P3 fueron los tratamientos óptimos para la producción de vainas y RVV en Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente. Dosis por encima de las óptimas disminuyen considerablemente el número de vainas verdes (NVV) y RVV.
9. En Montecillo el mayor número de vainas (NV) y semillas (NS) por m² que se presentó en P3 generó el RGS más alto. En San Pablo el incremento en el RGS por Kg de P fue de 14.7 kg ha⁻¹. Así el mayor RGS se encontró con P4 debido a un incremento en el NV, NS y número de semillas por vaina (NSV). Cd. Serdán mostró en mejor RGS con P2.

10. En Montecillo la MEB se encontró con 60 kg P ha^{-1} y un RGS de 240 g m^{-2} , diferenciándose de la MEE donde el RGS fue de 234 g m^{-2} al suministrar 48 kg P ha^{-1} . En San Pablo ambas eficiencias fueron con 100 kg P ha^{-1} con un RGS de 370 g m^{-2} . En Cd. Serdán la productividad fue más alta que en Montecillo con 276 y 273 g m^{-2} para la MEB y MEE, respectivamente. Sin embargo se obtuvieron con una menor dosis de P (32 y 21 kg P ha^{-1}).

Para densidad de población:

11. Ante variaciones en la densidad de población (DP) se afecta la AP, NN, NT, número de hojas (NH) y AF por planta. Solo la primera variable aumenta al incrementar de D1 a D4 las restantes disminuyen. El menor crecimiento vegetativo en densidades altas ocasiono una AMSTO por planta más baja.
12. Dentro de las densidades estudiadas, D4 generó un IAF y RI más altos. La elevada dependencia de la AMSTO por unidad de superficie en función de la RI generó en D4 la mayor AMSTO.
13. De los componentes de más influyen en el RGS en la etapa vegetativa es el IAF y en la etapa reproductiva el NS y TCS.
14. La densidad óptima promedio, densidad óptima fisiológica, y densidad óptima económica es la misma que permite coberturas adecuadas para interceptar el máximo de radiación incidente. En Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán fue de $125,000 \text{ plantas ha}^{-1}$ ($12.5 \text{ plantas m}^{-2}$).
15. Debido a la elevada plasticidad que presenta el cultivo se podrían realizar ensayos con densidades superiores a las de este trabajo.

Para interacción:

16. El mayor RVV y RGS en Montecillo fue con 132–66–125 N–P–DP y en San Pablo con 66–66–125 N–P–DP. En Cd. Serdán correspondió a 132–66–125 N–P–DP para el RVV y 66–66–125 N–P–DP para RGS.
17. El tratamiento óptimo económico para el RGS fue con 66-66-125 N–P–DP en San Pablo y Cd. Serdán y con 132–66–125 N–P–DP para Montecillo.
18. La dosis óptima económica estimada con el mejor modelo de regresión (BACKWARD para las tres localidades) fue de 140–55–121, 95–100–106 y 30–20–131 N–P–DP, para Montecillo, San Pablo y Cd. Serdán, respectivamente.

VI. LITERATURA CITADA

- Abdalla A. M. 2002. Effect of bio- and mineral phosphorus fertilizer on the growth, productivity and nutritional value of faba bean. *Egypt. J. Horti* 29: 187–203.
- Abdelhamid M., T Horiuchi and S. Oba. 2003. Evaluation of the SPAD value in faba bean (*Vicia faba* L.) leaves in relation to different fertilizer applications. *Plant Prod. Sci.* 6(3): 185–189.
- Adisarwanto T. and R. Knight. 1997. Effect of sowing date and plant density on yield and yield components in the faba bean. *Aust. J. Agric. Res.* 48, 1161–1168.
- Aguado L. G., J. D. Etchevers, C. Hidalgo, A. Galvis y A. Aguirre. 2002. Dinámica del potasio en suelos agrícolas. *Agroicencia* 36 (1): 11–21.
- Agung S. and G. K. McDonald. 1998. Effect of size and maturity on the growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) *Aust. J. Agric. Res.* 49: 79–88.
- Ahmed M. A. and H. M. H. El-Abagy. 2007. Effect of bio-and mineral phosphorus fertilizer on the growth, productivity and nutritional value of some faba bean (*Vicia faba* L.) cultivars in newly cultivated land. *J. Applied Sci. Res.* 3 (6): 408–420.
- Ahmed M. A., M. S. Hassanein and N. M. Zaki. 1997. Yield capacity of some faba bean varieties (*Vicia faba* L.) *Egypt. J. Appl. Sci.* 12: 134–154.
- Al-Abdulsalm M. A. and K. S. Abdulsalam. 1995. Effect of plant density and certain pesticides on growth, yield and rhizobial nodulation of faba bean (*Vicia faba* L.). *J. King Saud Univ. Agric. Sci.* 7 (2): 249–257.
- Almeida F. A. C., L. L. Bellido, M. Fuentes and J. E. Castillo. 1995. Effect of plant density on growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) in Mediterranean conditions. *In: AEP (Ed.), Proceeding of Second European Conference on Grain Legumes, 9–13 July, Copenhagen, Denmark.* p. 167.
- Al-Naeem M. A. 2008. Effect of irrigation scheduling on growth parameters and water use efficiency of barley and faba bean crops in Al-Ahsa, Saudi Arabia. *American J. Plant Physiol.* 3 (3): 111–120.
- Al-Rifaae M., M. A. Turk and A. R. M. Tawaha. 2004. Effect of seed size and plant population density on yield and yield components of local faba bean (*Vicia faba* L. Major). *Inter. J. Agric. Biol.* 6 (2). 294–299.
- Amanuel G., R. F. Kühne and D. G. Tanner. 2000. Biological nitrogen fixation in faba bean (*Vicia faba* L.) in the Ethiopian highlands as affected by P fertilization and inoculation. *Biol. Fertil. Soils* 32: 353–359.
- Amato G., R. Cibella, D. Giambalvo. L. Gristina. 1992. Observations of the reproductive development in faba bean (*Vicia faba* L. var. *equina*) in relation to plant density. *In: AEP (Ed.),*

Proceedings of the First European Conference on Grain Legumes. 1–3 June, Angers, France. pp. 245–246.

Andrade F. 1995. Analisis of growth and yield maize, sunflower and soybean growth at Balcarce, Argentina. *Field Crops Res.* 41: 1–12.

Andreeva T. F., N. S. MAevskaya and S. Y. Voevudska, 1998. The relationship between photosynthesis and nitrogen assimilation in *Mustard* plants exposed to elevated nitrates rates in solutions. *Russian J. Plant Physiol.* 45: 702 – 705.

Andrews M., J. J. MacFarlane and J. I. Sprent. Carbon and nitrogen assimilation by *Vicia faba* L. at low temperature: the importance of concentration and form of applied-N. *Annals of Botany* 56: 651–658.

Anónimo. 2005. Efecto del fósforo en la fijación del nitrógeno. *Informaciones Agronómicas* 56: 12–13.

Anónimo. 1999. Phosphorus and water use efficiency. *Better Crops.* 83 (1): 24–27.

Aragón L. E. 1993. Efecto de la aplicación de 3 niveles de P₂O₅ y K₂O y dos fertilizantes foliares en el cultivo de haba (*Vicia faba* L). Tesis, Ing. Agrónomo. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Armstrong E., P. W. Matthews, N. A. Fettell, D. J. Holding, L. G. Gaynor, C. J. Lisle and B. R. Cullis. 2008. Effects of plant density on the yield of field pea and faba bean varieties across southern and central NSW—preliminary findings. Proceedings of the 14th Australian Agronomy Conference. September 2008, Adelaide South Australia.

Ascencio J. y J. V. Lazo. 2001. Crecimiento y eficiencia de fósforo de algunas leguminosas cultivadas en arena regada con soluciones nutritivas con fosfatos inorgánicos de hierro y calcio. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 18: 13–32.

Austin R. B., C. L. Morgan and M. A. Ford. 1981. A field study of the carbon economy of normal and “topless” field beans (*Vicia faba* L.). p. 60 – 79. *In. Vicia faba: Physiology and breeding.* Thompson R. (ed).. Martinus Nijhoff, The Hague, The Netherlands.

Azam K. M. 2002. Production efficiency of chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by inoculation, phosphorus levels and intercropping. Thesis, Doctor of Philosophy in Agronomy. Faculty of Agriculture University of Agriculture Faisalabad Pakistan.

Babiker E. E., E. A. E. El-Sheikh, A. J. Osman and A. H. El-Tinay. 1995. Effect of nitrogen fixation, nitrogen fertilization and viral infection on yield, tannin and protein contents and in vitro protein digestibility of faba bean. *Plant Foods for Human Nutrition.* 47: 257–263.

Bergareche C., D. Vidal y E. Simón. 1988. Componentes de la producción en un cultivo de *Vicia faba* sometido a fertilización nitrogenada. ARXIUS. Esc. Sup. De Agricultura de Barcelona. Any 11: 43–58.

Biamond H. 1995. Effects of nitrogen on development and growth of the leaves of vegetables. 3. Appearance and expansion growth of leaves of spinach. *Netherlands J. Agric: Sci.* 43: 247–260.

- Bollan M. D. A., G. P. Riethmuller, K. H. M. Siddique and S. P. Loss. 2001. Method of phosphorus fertilizer application and row spacing on grain yield of faba bean. (*Vicia faba* L.). Aust. J. Exp. Agric. 41: 227–234.
- Bollan M. D. A., K. H. M. Siddique and R. F. Brennan. 2000. Grain yield responses of faba bean (*Vicia faba* L.) to applications of fertiliser phosphorus and zinc. Aust. J. Exp. Agric. 40: 849–857.
- Bolland M. D. A., K. H. M. Siddique, S. P. Loss and M. J. Baker. 1999. Comparing responses of grain legumes, wheat and canola to applications of superphosphate. Nutrien Cycling in Agroecosystems. 53: 157–175.
- Bond D. A., D. A. Lawes, G. C. Hawrin, M. C. Saxena and J. H. Stephens. 1985. Faba bean (*Vicia faba* L.). pp. 169–265. In. Grain Legume Crops. Summerfield R. J. and E. H. Roberts (Eds.). Great Britain.
- Bond D. A., D. A. Lawes, G. C. Hawtin, M. C. Saxena and J. H. Stephens. 1985. Faba bean (*Vicia faba* L.). pp. 199–265. In. Grain Legume Crops. Summerfield, R.J., Roberts, E.H. (Eds.), Collins, London.
- Boote K. J., M. I. Mínguez and F. Sau. 2002. Adapting the CROPGRO legume model to simulate growth of faba bean. Agron. J. 94: 743–756.
- Bozoglu A. P., E. Peksen and A. Gülümser. 2002. Determination of green pod yield and some pod characteristics of faba bean (*Vicia faba* L.) cultivar/lines grown in different row spacing. Acta Hort. 579:347–350.
- Butler T. J., G. W. Evers, M. A. Hussey and L. J. Ringer. Rate of leaf appearance in crimson clover. Crop Sci. 42: 237 – 241.
- Buttery B. R. and H. Gibsona. 1990. The effect of nitrate on the time course of nitrogen fixation and growth in *Pisum sativum* and *Vicia faba*. Plant and Soil 127:143–146.
- Buysse J., H. V. D. Broeck and R. Merckx. 1996. The effect of different levels of N limitation on sugars, amino acids, growth and biomass partitioning in broadbean (*Vicia faba* L.). Annals of Botany 78: 39–44.
- Caba J. M., C. Lluch and F. Ligeró. 1993. Genotypic differences in nitrogen assimilation in *Vicia faba*: Effect of nitrate. Plant and Soil 151: 167–174.
- Cámara O. M. A., V. J. Mangas, V. J. Garmendia, A. Llopis y J. Martínez. 2001. La nutrición mineral de la papa. Disponible en: <http://www.argenpapa.com.ar/img/La%20nutrici%C3%B3n%20mineral%20de%20la%20papa.pdf>. (Consulta: agosto 10, 2009).
- Carcova J. G., G. Abeledo G. y P.M López. 2004. Producción de granos. Bases para su manejo. pp. 75–95.
- Chavez G. A. y J. A. de Leon. 2000. Evaluación de cuatro densidades de siembra en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en monocultivo en tres localidades de Quetzaltenango. ICTA Región VI. Labor Ovalle.

- Chiera J., J. Thomas and T. Ruffy. 2002. Leaf initiation and development in soybean under phosphorus stress. *J. Exp. Bot.* 53: 473–481.
- Ciampitti I. A. y F. O. Gracia. 2000. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Buenos Aires, Argentina.
- Coelho J.C. and P. A. Pinto. 1989. Plant density effects on growth and development of winter faba bean (*Vicia faba* var. *minor*). *Fabis Newslett.* 25: 26–30.
- Colomb B, J. R. Kiniry and P. Debaeke. 2000. Effect of soil phosphorus on leaf development and senescence dynamics on field-grown maize. *Agron J.* 92: 428–435.
- Condori B., P. Mamani, J. Vallejos, J. Blajos y A. Devaux. 1997. Efecto de la fertilización del cultivo de papa sobre el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en el sistema de rotación. *Revista Latinoamericana de la papa*: 9–10: 171–187.
- Cordovilla M. P., F. Ligeró and C. Lluch. 1996. Growth and nitrogen assimilation in nodules in response to nitrate levels in *Vicia faba* under salt stress. *J. Exper. Bot.* 47: 203–210.
- Crespo M. W. 1997. Las leguminosas en la agricultura Boliviana. pp. 175 – 191.
- Crispín M. A., G. P. Pérez y P. S. Sánchez. 1978. El cultivo de haba (*Vicia faba* L.) en los Valles Altos de México. *ICAMEX. México* 98: 1–8.
- Cruz C. M. 1993. Respuesta del haba (*Vicia faba* L.) a la inoculación con *Rhizobium leguminosarum* y a la fertilización con N y P. Tesis. Ing. Agrónomo. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Dale J. E. and J. L. Milthorpe. 1981. General features of the production and growth of leaves. *In* The growth and functioning of leaves. J. E. Dales and F. L. Milthorpe (Eds.). Cambridge University Press. pp 151–159.
- Dantuma G. and R. Thompson. 1983. Whole-crop physiology and yield components. *In*: Hebblethwaite, P.D. (Ed.), *The Faba Bean (Vicia faba L.)*. Butterworths Publisher, London, pp. 143–158 (Chapter 6).
- Dauri I., H. Sepetoglu, K. B. Marwat, G. Hassan and I. A. Khan. 2008. Effect of different levels of nitrogen on dry matter and grain yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *Pak. J. Bot.* 40 (6): 2453–2459.
- De Costa W. A., M. D. Dennett, U. Rathaweera and K. Nyalemegbe. 1997. Effects of different water regimes on field-grown determinate and indeterminate faba bean (*Vicia faba* L.). I. Canopy growth and biomass production. *Field Crops Res.* 49: 83–93.
- Dean G. and N. Mendham. 2003. Optimum plant densities for faba bean cv Fiesta VF sown on raised beds. Australian Society of Agronomy. “Solutions for a better environment”. Proceedings of the 11th Australian Agronomy Conference.
- Del Pozo A., E. Garnier and J. Aronson. 2000. Contrasted nitrogen utilization in annual C₃ grass and legume crops: Physiological explorations and ecological considerations. *Acta Oecologica* 21 (1): 79–89.

- Domínguez V. A. 1984. Tratado de fertilización. Ediciones Mundi–Prensa. Madrid, España. 585 p.
- El–Douby K. A. and G. A. S. Mouhamed, 2002. Effect of tillage, phosphorus fertilization and weed control on faba bean and estimation the contributions of yield component statistically. Egypt. J. Agric. Res. 80 (1): 253–274.
- El–Douby K. A., S. E. Toaima and R. A. Atalla. 2000. Effect of ridge width and plant distribution patterns on faba bean yield and some of its components. Annals of Agricultural Sci., Moshtohor 38 (2): 711–722.
- El–Habbasha S. F., M. Hozayn and M. A. Khalafallah. 2007. Integration effect between phosphorus levels and bio–fertilizers on quality and quantity yield of faba bean (*Vicia faba* L.) in newly cultivated sandy soils. Res. J. Agric. And Biol. Sci. 3 (6): 966–971.
- Ellis R. H, R. J. Summerfield and E. H. Roberts. 1988a. Effects of temperature, photoperiod and seed vernalization on flowering in faba Bean *Vicia faba*. Annals of Botany 61: 17–27.
- Ellis R. H., E. H. Roberts and R. J. Summerfield. 1988b. Variation in the optimum temperature for rates of seedling emergence and progress towards flowering amongst six genotypes of faba bean (*Vicia faba*). Annals of Botany 62: 119–126.
- El–Metwally, El–M. A., M. M. F. Abdalla, D.S. Darwish and W. K. Mohamed (2003). Performance of two faba bean cultivars under different plant distribution patterns. Abstract of Proc. 10th National Conf. Agron. 7–10 Oct., El–Arish, Egypt. 24–25.
- El–Wakeil N. E. and T. N. El–Sebai. 2007. Role of biofertilizer on faba bean growth, yield, and its effect on bean aphid and the associated predators. Res. J. Agric. and Biol. Sci. 3 (6): 800 – 807.
- El–Wakeil N. E. and T. N. El–Sebai. 2007. Role of biofertilizer on faba bean growth, yield, and its effect on bean aphid and the associated predators. Res. J. Agric. Biol. Sci. 3 (6): 800 – 807.
- Engels C. and H. Marschner. 1995. Plant uptake and utilization of nitrogen. *In*: Nitrogen fertilization in the environment. Bacon P. E. (Ed.), Marcel Dekker Inc., New York.
- Escalante E. J. A. 1995. Aprovechamiento del recurso agua en cultivos de secano. Agroproductividad 3: 28 –32.
- Escalante E. J. A. y J. Kohashi. 1993. Rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. IRENAT. Montecillo, Méx. 84 p.
- Escalante, E. J. A. y M. T. Rodríguez G. 2002a. Producción de haba (*Vicia faba* L.) en función del tamaño de la semilla y la aplicación fraccionada de nitrógeno. XXXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Torreón Coah. México.
- Escalante E. J. A. y M. T. Rodríguez G. 2002b. Producción de haba (*Vicia faba* L.) en función del nitrógeno, fósforo y densidad de población. XXXI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Torreón Coah. México.

- Evans J. R. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C₃ plants. *Oecologia* 78: 9–19.
- Fosket D. E. 1994. Plant growth and development: a molecular approach. San Diego: Academic Press. 580 p.
- Gardner F. P., R. B. Pearce and R. L. Mitchell. 1985. Physiology of crop plants. Iowa State University Press: Ames.
- Gautier H. R. Mech, P. Prusinkiewicz and C. Varlet–Grancher. 2000. 3D architectural modeling of aerial photomorphogenesis in white clover (*Trifolium repens* L.) using L–systems. *Annals of Botany* 85 (3): 359–370.
- Ghizaw A., T. Mamo, Z. Yilma, A. Molla and Y. Ashagre. 1999. Nitrogen and phosphorus effects on faba bean yield and some yield components, *J. Agron. Crop. Sci.* 182: 167–174.
- Grant C. A., D. N. Flaten, D. J. Tomasiewicz y S. C. Sheppard. 2001. Importancia de la nutrición temprana con fósforo. *Informaciones Agronómicas* 44: 1–5.
- Guadarrama Q. A., E. J. A. Escalante, M. T. G. Rodríguez, P. G. Sánchez y E. C. Sandoval. 2007. Biomasa, proteína, taninos y rendimiento en haba en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana* 25 (2): 145–154.
- Guadarrama Q. A. 2002 Crecimiento, dinámica de floración y calidad del rendimiento de haba (*Vicia faba* L.) en función del nitrógeno y densidad de población. Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 106 p.
- Hageman R. 1979. Integration of nitrogen assimilation in relation to yield. *In*. Hewitt E. J. and C. V. Cutting (eds.). Nitrogen assimilation of plants. Academic Press, N. Y. pp. 591–611.
- Hassanein M. S. 1995. Response of some faba bean varieties to water supply. *Annals of Agric. Sci., Moshtohor.* 38: 1383–1398.
- Hungria M. and M. C. Neves. 1987. Partitioning of nitrogen from biological fixation and fertilizer in *Phaseolus vulgaris*. *Physiol. Plant.* 69: 55–63.
- Husain M. M., J. B. Reid, H. Othman and J. N. Gallagher. 1990. Growth and water use of faba beans (*Vicia faba*) in a sub–humid climate. I. Root and shoot adaptations to drought stress. *Field Crops Res.* 23 (1): 1–17.
- Idris A. L. Y. 2008. Effect of seed size and plant spacing on yield and yield components of faba bean (*Vicia faba* L.). *Res. J. Agric. Biol Sci.* 4 (2). 146–148.
- INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Quito, Ecuador). 2006. Validar la variedad de haba mejorada INIAP–440 Quitumbe con la dosis de fertilización 40–80 kg/ha de N y P₂O₅. Informe Técnico Anual. 9 p.
- Ishag K. H. M. 1995. Use of the exponential growth model to analyse the growth of faba bean, lentils and peas. PhD Thesis, Department of Agricultural Botany, The University of Reading.

- Ishag K. H. M. and M. D. Dennett. 1998. Use of the exponential growth model to analyse the growth of faba bean, peas and lentils at three Densities: Fitting the model. *Annals of Botany*. 82: 497–505.
- Jeschke W. D., A. Peuke, E. A. Kirkby, J. S. Pate and W. Hartung. 1996. Effects of P deficiency on the uptake, flows and utilization of C, N and H₂O within intact plant of *Ricinus communis* L. *J. Exp. Bot.* 47: 1737–1754.
- Jeschke W. D., E. A. Kirkby, A. D. Peuke, J. S. Pate and W. C. Hartung. 1997. Effects of P deficiency on assimilation and transport of nitrate and phosphate in intact plants of castor bean (*Ricinus communis* L.). *J. Exp. Bot.* 48: 75–91.
- Jettner R., S. P. Loss, K. H. M. Siddique and L. D. Martin. 1998. Responses of faba bean (*Vicia faba* L.) to sowing rate in southwestern Australia. I. Seed yield and economic optimum plant density. *Aust. J. Agric. Res.* 49: 989–997.
- Jia Y. and V. M. Gray. 2004a. Interrelationships between nitrogen supply and photosynthetic parameters in *Vicia faba* L. *Photosynthetica* 41 (4): 605–610.
- Jia Y. and V. M. Gray. 2004b. Influence of phosphorus and nitrogen on photosynthetic parameters and growth in *Vicia faba* L. *Photosynthetica*. 42 (4): 535–542.
- Jia Y., V. M. Gray and C. J. Straker. 2004. The influence of *Rhizobium* and arbuscular mycorrhizal fungi on nitrogen and phosphorus accumulation by *Vicia faba*. *Annals of Botany* 94: 251–258.
- Kantolic A. G., P. I. Giménez, E. Pagano y F. V. Scultz. 1995. Rendimiento y peso de los granos en genotipos de soja verde ante cambios en la fecha de siembra. *Actas II Reunión Macional de Oleaginosas – Congreso Nacional de soja*. Pergamino, 24 – 27 de octubre 1995.
- Karamanos A. J. 1978. Water stress and leaf growth of field Beans (*Vicia faba* L.) in the field: Leaf number and total leaf area. *Annals of Botany* 42: 1393–1402.
- Karamanos A. J. and C. Giménez. 1991. Physiological factors limiting growth and yield of faba beans. *Options Méditerranéennes—Série Séminaires*. 10: 79–90.
- Kasim K. and M. D. Dennett. 1986. Effects of shading and plant density on leaf growth on *Vicia faba*. *Ann. Appl. Biol.* 109: 627–638.
- Lamb J. and A. Poddar. 1992. *Grain Legume Handbook*. Grain Legume Handbook Committee. Finsbury Press, Riverton, South Australia.
- Leilah A. A, and A.A. El-Deeb, 1990. Effect of plant density, *Rhizobium* inoculation and nitrogen rates on faba bean (*Vicia faba* L.). *J. Agric. Sci. Mansoura University, Egypt*. 13: 538–44.
- Lewis D. C. and W. A. Hawthorne. 1996. Critical plant and seed concentrations of phosphorus and zinc for predicting response of faba beans (*Vicia faba*). *Aust. J. Exp. Agric.* 36: 479 – 484.
- Li L., F. Zhang, X. Li, P. Chistie, J. Sun, S. Yang and C. Tang. 2003. Interspecific facilitation of nutrient uptake by intercropped maize and faba bean. *Nutrient Cycling in Agro*. 65: 61–71.

- Li L., S. Young, X. Li, F. Zhang and P. Christie. 1999. Interspecific complementary and competitive interactions between intercropped maize and faba bean. *Plant and Soil*. 212: 105–114.
- Liben M., T. Tadesse and A. Assefa. 2001. Determination of nitrogen and phosphorus fertilizer levels in different maize–faba bean intercropping patterns in northwestern Ethiopia. Seventh Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference. 11th – 15th February. pp 513 – 518.
- Long B., S. Holmes, M. McCallum and S. Wentworth. 2000. Wide row spacing in chickpeas and faba beans. ACC.
- López B. F. J., L. López and R. J. López. 2005. Competition, growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.). *Europ. J. Agronomy*. 23: 359–378.
- Loss S. P., K. H. M. Siddique and L. D. Martin. 1997. Adaptation of faba bean (*Vicia faba* L.) to dryland Mediterranean–type environments II. Phenology, canopy development, radiation absorption and biomass partitioning. *Field Crops Res.* 52: 29–41.
- Loss S.P., Siddique, K.H.M., Jettner, R., Martin, L.D., 1998a. Responses of faba bean (*Vicia faba* L.) to sowing rate in Southwestern Australia. I: seed yield and economic optimum plant density. *Aust. J. Agric. Res.* 49, 989–997.
- Loss S. P., K. H. M. Siddique, L. D. Martin and A. Crombie. 1998b. Responses of faba bean (*Vicia faba* L.) to sowing rate in Southwestern Australia. II: Canopy development, radiation absorption and dry matter partitioning. *Aust. J. Agric. Res.* 49: 999–1008.
- Lynch J., A. Läuchli and E. Epstein. 1991. Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus nutrition. *Crop Science*. 31: 380–387.
- Malavolta E., G. C. Vitti and S. A. 1997. Validación del estado nutricional de las plantas: principios y aplicaciones. 2 ed. Piracicaba Potafos. 319 p.
- Marschner H. 1986. Mineral nutrition of higher plants. New York: Academic Press. 674 p.
- Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd Ed. Academic Press Inc. London. 889 p.
- Marshall B. and J. Vos. 1991. The relationship between the nitrogen concentration and photosynthetic capacity of potato (*Solanum tuberosum* L.) leaves. *Annals of Botany* 68: 33–39.
- Mattews P. W., D. J. Carpenter, A. Smith and N. Fettell. 2001. Faba bean seeding rates for central and southern NSW. Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference, Hobart Australian Society of Agronomy.
- Matthews P. W., E. Armstrong, C. L. Lisle, I. D. Menz, P. L. Shephard and B. C. Armstrong. The effect of faba bean plant population on yield, seed quality and plant architecture under irrigation in southern NSW. Proceedings of the 14th Australian Agronomy Conference. September 2008, Adelaide South Australia.
- McEwen J., D. P. Yeoman and R. Moffitt. 1988. Effects of seed rates, sowing dates and methods of sowing on autumn–sown field beans (*Vicia faba* L.). *J. Agric. Sci.* 110: 345–352.

- Mengel K. and E. A. Kirkby. 2001. Principles of plant nutrition. 5th Edition. Kluwer Academic Publishers. The Netherlands. 849 p.
- Minguez M. I., B. Ruiz–Nogueira and F. Sau. 1993 Faba bean productivity and optimum canopy development under a Mediterranean climate. *Field Crops Res.* **33**: 435–447.
- Mokhtar A. (2001). Response of yield and yield components of faba bean (*Vicia faba* L.) to increasing level of nitrogen and phosphorus under two levels of plant stand density. *Ann. Agric. Sci., Ain Shams Univ.*, 46 (1): 143–154.
- Monteith J. L: 1977. Climate and efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transaction of the Royal Society of London B* 281: 277 – 297.
- Moore S. H. 1991. Uniformity of plant spacing effects on soybean population parameters. *Crop Sci.* 31: 1049–1051.
- Morales R. A. 2007. Crecimiento y rendimiento de haba (*Vicia faba* L.) en función del acolchado plástico y residuos de girasol (*Helianthus annuus* L.). Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 108 p.
- Morales R. E. J. 2005. Producción del agrosistema combinado girasol (*Helianthus annuus* L.) – frijol (*Phaseolus vulgaris* L.).
- Morales R. E. J., H. de la O, A. Morales y V. M. de la Cruz. 2002. Evaluación de cinco genotipos de haba (*Vicia faba* L.) con seis niveles de fósforo en Tecámac, México. *Ciencia Ergo Sum* 9 (2): 184–189.
- Mwanamwenge J., S. P. Loss, K. H. M. Siddique and P. S. Cocks. 1998. Growth, seed yield and water use of faba bean (*Vicia faba* L.)m, in a short–season Mediterranean–type environment. *Aust. J. Exp. Agric.* 38, 171–180.
- Nadal S. and M. T. Moreno. 2006. Optimal population density of determinate growth habit faba bean for immature green pod production. *Agriculturae Conspectus Scientificus.* 71 (1): 37 – 39.
- Nageswara Rao R.C., H. S. Talwar, and G. C. Wright. 2001. Rapid assessment of specific leaf area and leaf nitrogen in peanut (*Arachis hypogaea* L.) using a chlorophyll meter. *J. Agron. Crop Sci.* 186:175–182.
- Navarro G. H., M. A. Pérez y F. Castillo. 2007. Evaluación de cinco especies vegetales como cultivos de cobertura en Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30 (2):151–157.
- Nuruzzaman M., H. Lambers, M. D. A. Bolland and E. J. Veneklaas. 2005. Phosphorus benefits of different legume crops to subsequent wheat grown in different soils of Western Australia. *Plant and Soil* 271: 175–187.
- Odabas M. S., S. Uzun and A. Gülümser. 2007. The quantitative effects of temperature and light on growth, development and yield of faba bean (*Vicia faba* L.): I. Growth. *Inter. J. Agric. Res.* 2 (9): 765–775.
- Olivera C. A. da S. 2000. Potato crop growth as affected by nitrogen and plant density. *Pesquisa Agropecuária Brasileira.* 35 (5): 939 – 950.

- Passioura J. B. 1977. Grain yield, harvest index and water use of wheat. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 43:117–120.
- Pate J. S. 1971. Movement of nitrogenous solutes in plants. pp 165 – 187. *In*. N-15 in Soil Plant Studies, I. A. E. A., Vienna.
- Peat W.E. (1982): Reproductive losses in the faba bean. *Outlook Agric.* 11:179–184.
- Penning de Vries F. W. T. 1974. Substrate utilization and respiration in relation to growth and maintenance in higher plants. *Neth. J. Agric. Sci.* 22: 40–44.
- Pichardo R. J. C. 2005. Eficiencia en el uso del nitrógeno y calidad de rendimiento en haba (*Vicia faba* L.) con aplicación dividida de nitrógeno. Tesis Maestría, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Pichardo R. J. C., A. Escalante y M. T. Rodríguez. 2006. Radiación interceptada y análisis de crecimiento en haba (*Vicia faba* L.) en función de la aplicación dividida de nitrógeno. Congreso Agronómico. Chapingo, Estado de México. México.
- Pichardo R. J. C., J. A. Escalante, M. T. Rodríguez y P. Sánchez. 2007. Aplicación dividida y eficiencia agronómica del nitrógeno, uso de agua y radiación, y rendimiento de haba. *Terra Latinoamericana* 25 (2): 145–154.
- Pilbeam C. J., G. Duc and P. D. Hebblethwaite. 1990. Effects of plant population density on spring-sown field beans (*Vicia faba*) with different growth habits. *J. Agric. Sci.* 114: 19–33.
- Pilbeam C. J., P. D. Hebblethwaite and H. E. Ricketts. 1989. The response of determinate and semi-determinate faba bean varieties to different sowing date in the spring. *Ann Appl. Biol.* 114: 377–390.
- Pilbeam C.J., P. D. Hebblethwaite, H. E. Ricketts and T. E. Nyongesa. 1991a. Effects of plant population density on determinate and indeterminate forms of winter field beans (*Vicia faba*). I: yield and yield components. *J. Agric. Sci.* 116, 375–383.
- Pilbeam C. J., P. D. Hebblethwaite, T. E. Nyongesa and H. E. Ricketts. 1991b. Effects of plant population density on determinate and indeterminate forms of winter field beans (*Vicia faba*). II: Growth and development. *J. Agric. Sci.* 116, 385–393.
- Pilbeam D. J., I. Cakmak, H. Marschner and E. A. Kirkby. 1993. Effect of withdrawal of phosphorus on nitrate assimilation and PEP carboxylase activity in tomato. *Plant Soil.* 154: 111–117.
- Plancquaert P. 2000. Field bean (broadbean, fababean) *Vicia faba* L. Institut Technique des Céréales et des Fourrages (ITCF), Paris, France.
- Plénet D, S. Etchebest, A. Mollier and S. Pellerin. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. I. Leaf growth. *Plant and Soil* 223: 117–130.
- Poulain D., S. Keller and J. Le Guen. 1986. Canopy development and efficiency of foliar light interception in winter faba bean. *Fabis Newslett.* 16: 13–19.

- Prusiński J. 2007. Content and balance of nitrogen in faba bean fertilized with ammonium nitrate and fed additionally with urea. *Electronic J. Polish Agric. Universities*. 10 (4): 24. Disponible en <http://www.ejpau.media.pl/volume10/issue4/art-24.html>. (Consulta: junio 2009).
- Radin J. W. and M. P. Eidenbock. 1984. Hydraulic conductance as a factor limiting leaf expansion of phosphorus-deficient cotton plant. *Plant Physiol*. 75: 372–377.
- Raghothama K. G. 1999. Phosphate acquisition. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 50: 665 – 693.
- Raij B. V. 1991. Fertilidad del suelo. Piricaba: Ceres. Potafos. 343 p.
- Rashed M. N. and R. M. Awadallah. 1998. Trace elements in faba bean (*Vicia faba* L.) plant and soil as determined by atomic absorption spectroscopy and ion selective electrode. *J. Sci. Food Agric*. 77: 18–24.
- Refay Y. A. 2001. Effect of planting dates and plant density on two faba bean lines grown under the Central region conditions of Saudi Arabia. *Arab Universities J. Agric Sci*. 9 (1): 79–93.
- Robertson L. D. and M. El-Sherbeeney. 1993. Faba Bean Germplasm Catalog: Pure Line Collection. International Centre for Agricultural Research in Dry Areas, Aleppo, Syria.
- Rodriguez D, W. G. Keltjens and J. Goudriaan. 1998a Plant leaf area expansion and assimilate production in wheat (*Triticum aestivum* L.) growing under low phosphorus conditions. *Plant and Soil*. 200: 227–240.
- Rodriguez D, M. M. Zubillaga, E. L. Ploschuk, W. G. Keltjens, J. Goudriaan and R. S. Lavado. 1998b. Leaf area expansion and assimilate production in sunflower (*Helianthus annuus* L.) growing under low phosphorus conditions. *Plant and Soil*. 202: 133–147.
- Ruffy T. W., D. W. Israel, J. R. Volk, J. Qui and S. A. Tongmin. 1993. Phosphate regulation of nitrate assimilation in soybean. *J. Exp. Bot*. 44: 879–891.
- Ruffy T. W., M. Y. Siddiqi, A. D. Glass and T. J. Ruth. 1991. Altered $^{15}\text{NO}_3^-$ influx in phosphorus limited plants. *Plant Sci*. 76: 43–48.
- Ruiz R. M. ALAMEDA: Un modelo estructural-funcional del cultivo de *Vicia faba* L. Tesis, Ing. Agrónomo. Departamento de producción vegetal: Fitotecnia. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 274 p.
- Saad A. O. M. and M. A. El-Kholy. 2000. Response of some faba bean cultivars to phosphorus and magnesium fertilization. *Egyp. J. Agron*. 22: 19 – 38.
- Saldaña A., G. Romero, R. Rolando y R. Vázquez. 2000 Efecto de fertilizante y densidad de población sobre calidad de haba en Puebla, México. Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Salisbury F. B. y C. W. Ross. 1991. Fisiología vegetal. Ed. Ibereamericana. 759 p.

Sánchez H. M. A. 1996. Dosis optima de fertilización para el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) bajo condiciones de temporal en Chapingo, Estado de México. Tesis Ing. Agrónomo. Chapingo, México.

Sánchez H. M., A. S. Sánchez y H. Rebolledo. 2001. Fertilización en el cultivo de haba (*Vicia faba* L.) de temporal en Chapingo, México. Revista Chapingo Serie Ingeniería Agropecuaria. 4 (1): 11–16.

Satorre E. H. 1999. Plant density and distribution as modifiers of growth and yield. *In*. E. H. Satorre and G. A. Slafer (eds.), Wheat: Ecology and Physiology of yield determination. The Hawoeth Press, Inc New York, London, Oxford. pp. 141–159.

Satorre H. E. R. L. B. Arnold, G. A. Slafer, E. B. de la Fuente, D. J. Millares, E. Otegui y R. Savin. 2003. Producción de granos: bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

Sau F. and M. I. Mínguez. 2000. Adaptation of indeterminate faba beans to weather and management under a Mediterranean climate. Field Crops Res. 66: 81–89.

Savin. 2003. Producción de granos: bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina

Schachtman D. P., R. J. Reid and S. M. Ayling. 1998. Phosphorus uptake by plants: From soil to cell. Plant Physiology. 116: 447–453.

Sexton P. J. J. W. White and K. J. Boote. 1994. Yield-determining processes in relation to cultivar seed size of common bean. Crop Sci. 34: 84–91.

Shaaban M. M., A. F. El-Sayed, A. El-Nour, E. A. M. Aly and E. A. K. Mohamed. 2006. Boron/nitrogen interaction effect on growth and yield of faba bean plants grown under sandy soil conditions. Inter. J. Agric. Res. 1(4): 322–330.

Sharaan A. N., A. E. Megawer, H. A. Saber and Z. A. Hemida. 2004. Biological yield, its related growth criteria and chocolate-spot disease as influenced by cultivares, sowing dates and planting distances in faba bean. Bull. Agric. Econ. Min. Agric. Egypt. 1–15.

SIAP (Servicio de Alimentación Agroalimentaria y Pesquera). 2008. Disponible en: http://www.siap.gob.mx/aagricola_siap/ientidad/index.jsp. (Consulta: agosto 25, 2008).

Sinclair T. R. and R.C. Muchow. 1999. Radiation use efficiency. Adv. Agron. 65:215–265.

Sinclair T. R. and T. Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency: A review. Crop Sci. 29: 90–98.

Singh S. P., N. P. Singh and R. K. Pandey. 1992. Effect of variety and plant density on pattern of dry-matter accumulation in faba bean. Fabis Newslett. 31: 21–24.

Singh R. P. and H. S. Srivastava. 1999. Nitrogen nutrition and plant growth. Science Publishers. 347 p.

- Soheir A. M. 2001. Response of yield and yield components of faba bean (*Vicia faba* L.) to increasing levels of nitrogen and phosphorus under two levels of plant stand density. *Annals Agric. Sci.* 46 (1): 143–154.
- Stringi L., R. Sarno, G. Amato and L. Gristina. 1986. Effects of plant density on *Vicia faba* L. *equina* and *Vicia faba* L. *minor* in a semi-arid environment in Southern Italy. *Fabis Newslett.* 15: 42–45.
- Stützel H. and W. Aufhammer. 1992. Grain yield in determinate and indeterminate cultivars of *Vicia faba* with different plant distribution patterns and population densities. *J. Agric. Sci.* 118: 343–352.
- Talaat N. B. and A. M. Abdallah. 2008. Response of faba Bean (*Vicia faba* L.) to dual inoculation with *Rhizobium* and VA mycorrhiza under different levels of N and P fertilization. *J. Applied Sci. Res.* 4(9): 1092–1102.
- Tang C., M. J. Unkovich and J. W. Bowden. 1999. Factors affecting soil acidification under legumes. III. Acid production by N₂-Fixing legumes as influenced by nitrate supply. *New Phytol.* 143: 513 – 521.
- Thalji T. 2006. Impacts of row spacing on faba bean L. growth under Mediterranean rainfed conditions. *J. of Agronomy.* 5 (3): 527–532.
- Thalooth A. T., G. M. Yakout and A. O. M. Saad. 2001. Response of broad bean (*Vicia faba*) to method of phosphorus application and foliar application of micronutrients. *Plant nutrition – Food security and sustainability of agro-ecosystems* 794–795.
- Thomson B. D. and K. H. M. Siddique. 1997. Grain legume species in low rainfall mediterranean-type environments I. Canopy development, radiation interception, and dry-matter production. *Field Crops Res.* 54: 189–199.
- Tisdale L. S. y L. W. Nelson. 1991. *Fertilidad de los suelos y fertilizantes.* Ed. Uthea. 760 p.
- Tornero C. M. A., J. Ramos y V. Olvera. 1993. *Tecnología agrícola para la producción de haba.* Colegio de Postgraduados. 17 p.
- Turk M. A. and A. R. M. Tawaha. 2002. Impact of seeding rate, seeding date, rate and method of phosphorus application in faba bean (*Vicia faba* L. *minor*) in the absence of moisture stress. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 6 (3): 171–178.
- Turpin J. E., M. J. Robertson, C. Haire, W. D. Bellotti, A. D. Moore and I. Rose. 2003. Simulation fababean development, growth, and yield in Australia. *Aus. J. Agric. Res.* 54: 39–52.
- Turrent F. A. y R. J. Laird. 1975. La matriz Plan Puebla para ensayos sobre prácticas de producción de cultivos. *Agrociencia* 19: 117–143.
- Tuttobene R. and C. Vagliasindi. 1995. Effects of plant density on flowering characteristics, growth and yield in “Sikelia” a new faba bean genotype (*Vicia faba* L.) recently released. *In. Proceeding of Second European Conference on Grain Legumes.* AEP (Ed.).

- Vega C. R. y F. H. Andrade. 1995. Densidad de plantas y espaciamento entre hileras. *In*. F. H. Andrade y V. O. Sadras (Eds.). Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. EEA. INTA Balcarce–Fac. de Ciencias Agrarias UNMP.
- Vera C. P. A. 2003. Efecto de la densidad poblacional en haba (*Vicia faba* L), sobre la productividad, atributos de calidad y su resultado económico, para la agroindustria del congelado y mercado fresco. Tesis Ing. Agrónomo. Universidad Mayor, Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias, Santiago de Chile. 46 p.
- Villalobos F. J., L. Mateos, F. Orgaz y E. Fereres. 2002. Fitotecnia: Bases y tecnologías de la producción agrícola. Ed. Mundiprensa. 493 p.
- Wells R. 1991. Dynamics of soybean growth in variable planting patterns. *Agron. J.* 85: 44–48.
- Wendling A. 2005. Recomendacao de nitrogenio e potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. Dissertacao de Maestrado. Santa Maria, R. S. Brasil.
- Westgate M. E. and D. Thomson. 1989. Effects of water deficits on seed development in soybean. I. Tissue water status. *Plant Physiol.* 91: 975–979.
- Wingeyer A., H. Echeverría, R. y H. Sainz. 2005. Aplicación foliar de nitrógeno y azufre en el cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merr). *RIA.* 34 (2): 33–47.
- Wojcieszka U. and A. Kocoń. 1997. Reaction of faba bean plants to soil and foliar N application and K nutrition. *Acta Physiol. Plant.* 19(1): 23–28.
- Wolf J. 1996. Effects of nutrient (NPK) supply on faba vean response to elevated atmospheric CO₂. *Netherlans J. Agric. Sci.* 44: 163–178.
- Xia M. Z. 1997. Effects of soil drought during the generative development phase on seed yield and nutrient uptake of faba bean (*Vicia faba*). *Aust. J. Agric. Res.* 48: 447–452.
- Yakout G. M. and M. H. Greish. 2001. Response of faba bean crop to phosphatic, foliar and bio–fertilization under new reclaimed sandy soil conditions. *Plant nutrition. Food security and sustainability of agro–ecosystems.* 850–851.

APÉNDICE

Cuadro1. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87, 127 y 156 días después de la siembra (dds) en función del suministro de nitrógeno. Montecillo, México. Primavera 2007.

Tratamiento	AP	NN	NT	NH	NF	AF	IAF	RI	DAF	DAFT
87 dds										
N1	93.8 b ^z	36.8 b	3.3 a	28.0 b	182.3 b	3930 b	1.7 b	71.3 b	71.8 b	---
N2	110.0 a	86.8 a	4.8 a	60.3 a	351.3 a	8700 a	3.6 a	86.9 a	158.7 a	---
N3	96.3 b	103.5 a	4.8 a	77.3 a	370.3 a	6350 ab	2.7 ab	83.0 ab	115.7 ab	---
N4	102.5 ab	79.0 a	3.8 a	64.5 a	265.3 ab	7160 ab	3.0 ab	86.2 a	130.8 ab	---
Promedio	100.6	76.5	4.1	57.5	246.7	6535	2.8	81.9	119.3	---
DSH_{0.05}	11.4	27.5	1.9	23.0	153.3	4000	1.7	13.4	71.9	---
127 dds										
N1	116.8 c	122.8 a	5.0 a	80.0 b	428.0 bc	9950 b	4.0 b	93.3 c	114.1 b	---
N2	136.0 a	183.3 a	5.8 a	106.8 a	660.0 a	16350 a	6.9 a	99.1 a	186.2 a	---
N3	132.5 ab	143.5 a	5.8 a	113.3 a	533.5 ab	17400 a	7.3 a	100.0 a	210.3 a	---
N4	125.0 b	125.0 a	4.0 b	96.0 b	350.3 c	12180 ab	5.1 ab	96.1 b	162.2 ab	---
Promedio	128.0	143.6	5.1	99.0	493.0	13970	5.8	97.1	168.0	---
DSH_{0.05}	7.9	71.7	0.9	18.5	158.8	6400	2.32	2.41	70.8	---
156 dds										
N1	148.3 b	158.0 a	6.8 ab	25.3 b	151.3 a	980.0 a	0.41 a	33.6 a	64.8 b	250.6 b
N2	161.8 a	205.3 a	7.3 a	38.8 ab	173.3 a	1230.0 a	0.52 a	36.8 a	104.0 ab.	405.8 ab
N3	150.0 b	178.7 a	6.7 ab	56.0 a	239.7 a	3430.0 a	1.44 a	51.7 a	120.4 a	489.4 a
N4	153.3 ab	184.8 a	5.3 b	49.3 ab	186.3 a	1910.0 a	0.80 a	51.4 a	85.7 ab	378.6 ab
Promedio	153.0	181.7	6.5	42.3	187.7	1890.0	0.80	43.3	93.8	381.0
DSH_{0.05}	7.9	71.7	0.9	18.5	158.8	640.0	2.32	2.41	39.6	163.5

AP: altura de planta (cm), NN: número de nudos por planta, NT: número de tallos por planta, NH: número de hojas por planta, AF: área foliar por planta (cm²), IAF: índice de área foliar, RI: radiación intercepta (%), DAFT: duración del área foliar total (días). N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹. ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %.

Cuadro 2. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87, 127 y 156 días después de la siembra (dds) en función del suministro de nitrógeno. San Pablo, México. Primavera 2007.

Tratamiento	AP	NN	NT	NH	NF	AF	IAF	RI	DAF	DAFT
87 dds										
N1	81.3 a ^z	44.3 b	2.5 a	40.3 b	182.5 a	4950 a	2.1 a	73.1 a	90.4 a	---
N2	87.5 a	49.5 ab	3.3 a	41.0 b	205.8 a	4880 a	2.1 a	78.3 a	89.6 a	---
N3	83.8 a	55.5 a	3.1 a	50.8 a	238.5 a	6200 a	2.6 a	82.9 a	113.2 a	---
N4	87.5 a	58.8 a	3.1 a	53.0 a	254.5 a	6450 a	2.7 a	82.5 a	117.9 a	---
Promedio	85.0	52.0	3.0	46.2	230.3	5620	2.4	79.2	102.7	---
DSH_{0.05}	12.5	9.5	0.9	8.7	102.1	4610	1.9	18.2	84.5	---
127 dds										
N1	120.3 c	77.5 a	2.5 a	52.5 a	207.8 a	5680 a	2.4 a	79.6 a	89.2 a	---
N2	128.8 b	97.8 a	3.5 a	59.5 a	238.3 a	6830 a	2.9 a	84.9 a	98.7 a	---
N3	131.3 b	83.3 a	3.1 a	38.3 a	224.5 a	6080 a	2.5 a	80.8 a	103.0 a	---
N4	136.3 a	112.8 a	4.1 a	52.3 a	260.3 a	8400 a	3.5 a	86.3 a	124.9 a	---
Promedio	129.1	92.8	3.3	50.5	232.5	6740	2.8	82.9	103.9	---
DSH_{0.05}	4.8	50.3	2.0	29.8	188.5	6270	2.6	17.1	79.2	---
156 dds										
N1	140.0 a	133.0 a	4.0 a	7.0 b	25.3 b	240.0 a	0.09 a	8.6 a	36.0 a	215.5 a
N2	143.8 a	134.0 a	4.1 a	16.5 b	73.8 ab	730.0 a	0.30 a	24.0 a	46.1 a	234.3 a
N3	138.8 a	141.0 a	3.8 a	24.5 ab	61.8 ab	370.0 a	0.15 a	14.8 a	39.2 a	255.4 a
N4	156.3 a	153.0 a	4.5 a	41.0 a	143.5 b	950.0 a	0.40 a	31.0 a	57.0 a	299.8 a
Promedio	144.7	135.1	4.2	22.2	76.1	570.0	0.91	19.6	44.5	251.2
DSH_{0.05}	20.1	94.6	3.0	20.7	84.6	830.0	0.35	24.5	35.7	202.2

Cuadro 3. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87 y127 días después de la siembra (dds) en función del suministro de nitrógeno. Cd. Serdán, Puebla. Primavera 2007.

Tratamiento	AP	NN	NT	NH	NF	AF	IAF	RI	DAF	DAFT
87 dds										
N1	57.0 b ^z	24.5 b	1.8 b	19.8 b	75.5 b	1940 b	0.82 b	50.7 b	35.5 b	---
N2	70.3 a	35.8 a	4.5 a	30.5 a	113.0 a	3320 a	1.40 a	68.5 a	60.7 a	---
N3	54.0 b	23.5 b	1.8 b	19.8 b	83.3 ab	2030 b	0.85 b	54.1 b	37.0 b	---
N4	56.5 b	19.8 b	1.5 b	17.0 b	71.5 b	1900 b	0.80 b	52.0 b	34.7 b	---
Promedio	59.4	25.9	2.4	21.8	85.8	2300	0.96	56.3	42.0	---
DSH_{0.05}	10.9	7.9	1.6	7.3	35.3	900	0.38	11.2	16.4	---
127 dds										
N1	150.0 a	70.3 a	2.8 ab	39.3 ab	224.3 a	5280 a	2.20 a	80.5 b	60.6 a	96.0 b
N2	160.0 a	72.5 a	4.5 a	52.3 a	249.3 a	6180 a	2.59 a	92.0 a	79.8 a	140.5 a
N3	143.8 a	55.8 a	2.0 b	30.5 b	213.8 a	5750 a	2.41 a	80.9 b	65.3 a	102.3 b
N4	142.5 a	54.8 a	1.8 b	28.0 b	185.5 a	5280 a	2.22 a	78.6 b	60.3 a	95.0 b
Promedio	149.1	63.3	2.7	37.5	218.2	5620	2.35	83.0	66.4	108.3
DSH_{0.05}	33.1	28.1	2.0	15.0	116.7	2830	1.19	10.2	23.3	29.1

AP: altura de planta (cm), NN: número de nudos por planta, NT: número de tallos por planta, NH: número de hojas por planta, AF: área foliar por planta (cm²), IAF: índice de área foliar, RI: radiación intercepta (%), DAFT: duración del área foliar total (días). N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha⁻¹. ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %.

Cuadro 4. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127, 156 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función del suministro de nitrógeno. Montecillo, México. Primavera 2007.

Tratamiento	Materia seca (g m^{-2})			
	Hoja	Tallo	Fruto	Total
87 dds				
N1	172.1 a ^z	299.9 a	32.5 a	504.7 a
N2	159.5 a	165.5 c	7.3 a	332.1 c
N3	166.6 a	227.2 b	26.6 a	420.3 b
N4	192.8 a	230.0 b	18.1 a	440.9 ab
Promedio	172.7	230.6	21.1	424.5
DSH_{0.05}	39.2	40.1	34.9	74.4
127 dds				
N1	450.2 a	418.7 a	114.4 a	983.3 a
N2	602.6 a	303.1 b	42.1 b	947.6 a
N3	485.2 a	359.1 ab	105.9 ab	950.1 a
N4	229.4 a	348.4 b	85.6 ab	663.5 a
Promedio	441.9	351.3	87.0	886.1
DSH_{0.05}	395.6	60.8	71.6	398.1
156 dds				
N1	117.9 a	491.5 a	171.9 b	782.3 a
N2	121.1 a	459.7 a	283.2 a	864.0 a
N3	152.7 a	497.0 a	232.9 a	882.5 a
N4	141.8 a	485.1 a	170.8 b	797.7 a
Promedio	133.4	483.3	214.9	831.6
DSH_{0.05}	38.8	145.3	123.0	181.1
Madurez fisiológica				
N1	---	369.7 a	228.7 b	598.5 a
N2	---	317.9 a	313.6 ab	631.5 a
N3	---	280.3 a	441.2 a	721.4 a
N4	---	387.5 a	284.6 ab	672.1 a
Promedio	---	338.8	317.0	655.9
DSH_{0.05}	---	142.8	188.2	255.7

N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha^{-1} . ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %.

Cuadro 5. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127, 156 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función del suministro de nitrógeno. San Pablo, México. Primavera 2007.

Tratamiento	Materia seca (g m^{-2})			
	Hoja	Tallo	Fruto	Total
87 dds				
N1	135.7 a ^z	194.9 a	24.4 a	354.8 a
N2	134.7 a	174.6 a	18.0 a	327.2 a
N3	136.2 a	182.9 a	0.0 b	319.1 a
N4	131.8 a	172.8 a	12.6 ab	317.2 a
Promedio	134.6	181.3	10.7	329.6
DSH_{0.05}	25.5	37.1	16.5	61.9
127 dds				
N1	137.4 a	303.8 a	96.4 a	537.6 a
N2	139.1 a	357.1 a	89.7 a	585.8 a
N3	154.6 a	341.1 a	82.8 a	578.4 a
N4	142.3 a	295.8 a	96.0 a	534.2 a
Promedio	143.3	324.4	91.2	559.0
DSH_{0.05}	42.9	124.0	74.9	203.6
156 dds				
N1	107.1 a	398.4 a	115.7 b	653.3 b
N2	96.5 a	479.5 a	147.7 b	877.6 a
N3	53.2 a	343.6 a	260.9 a	657.7 b
N4	74.8 a	441.1 a	199.0 ab	714.9 ab
Promedio	82.9	415.6	180.8	725.9
DSH_{0.05}	58.8	170.3	94.7	212.7
Madurez fisiológica				
N1	---	255.4 a	206.4 b	461.8 b
N2	---	357.7 a	347.2 ab	704.8 a
N3	---	344.5 a	408.3 a	752.8 a
N4	---	392.8 a	473.8 a	866.6 a
Promedio	---	337.6	358.9	696.5
DSH_{0.05}	---	152.2	147.7	234.2

N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha^{-1} . ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DSH_{0.05}=Diferencia Significativa Honesta al 5 %.

Cuadro 6. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función del suministro de nitrógeno. Cd. Serdán, Puebla. Primavera 2007.

Tratamiento	Materia seca (g m^{-2})			
	Hoja	Tallo	Fruto	Total
87 dds				
N1	123.0 a ^z	140.8 a	---	263.8 a
N2	127.1 a	142.7 a	---	269.7 a
N3	123.8 a	144.5 a	---	268.3 a
N4	125.4 a	140.7 a	---	266.1 a
Promedio	124.8	142.5	---	267.0
DSH_{0.05}	10.0	21.2	---	22.9
127 dds				
N1	156.2 a	309.1 a	245.0 a	710.3 a
N2	158.5 a	260.1 a	196.5 a	607.1 a
N3	147.6 a	281.9 a	195.6 a	625.0 a
N4	144.6 a	270.8 a	199.9 a	615.4 a
Promedio	149.7	280.4	209.2	639.5
DSH_{0.05}	23.2	63.4	87.6	156.0
Madurez fisiológica				
N1	---	282.0 a	353.3 ab	635.3 ab
N2	---	297.4 a	446.0 a	743.3 a
N3	---	297.6 a	362.4 ab	660.0 ab
N4	---	243.9 a	235.7 b	479.6 b
Promedio	---	280.2	349.3	629.5
DSH_{0.05}	---	98.0	176.0	216.9

N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha^{-1} . ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %.

Cuadro 7. Rendimiento de vaina verde (RVV, g m^{-2}), peso de vaina (PV, g) y número de vainas (NV, m^{-2}) con suministro de nitrógeno en tres localidades del altiplano mexicano. Primavera 2007.

Tratamiento	Montecillo			San Pablo			Cd. Serdán		
	RVV	PV	NV	RVV	PV	NV	RVV	PV	NV
N1	551.0 c ^z	7.9 a	78.6 b	773.0 b	10.2 a	76.8 a	758.1 a	10.0 a	72.2 a
N2	1046.0 ab	7.4 a	143.6 ab	895.9 ab	12.5 a	80.0 a	786.0 a	10.8 a	77.2 a
N3	1369.9 a	7.5 a	180.2 a	1108.8 ab	11.6 a	98.7 a	847.4 a	11.4 a	80.6 a
N4	760.8 ba	7.5 a	101.0 b	1132.1 a	10.1 a	112.1 a	902.1 a	10.2 a	88.6 a
Promedio	931.9	7.6	125.9	977.4	11.1	91.9	823.4	10.6	80.9
DSH_{0.05}	448.3	1.9	66.4	352.1	3.89	51.3	305.5	4.80	38.7

N1=0, N2=66, N3=132 y N4=200 kg N ha^{-1} . ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

Cuadro 8. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87, 127 y 156 días después de la siembra (dds) en función del suministro de fósforo. Montecillo, México. Primavera 2007.

Tratamiento	AP	NN	NT	NH	NF	AF	IAF	RI	DAF	DAFT
87 dds										
P1	101.3 a ^z	67.3 a	4.1 a	54.0 a	236.3 a	4330 a	1.8 a	73.8 a	79.0 a	---
P2	110.0 a	86.8 a	4.8 a	60.3 a	351.3 a	8700 a	3.6 a	86.9 a	158.7 a	---
P3	104.5 a	86.3 a	4.3 a	62.5 a	303.8 a	5830 a	2.4 a	82.4 a	106.5 a	---
P4	105.0 a	87.0 a	4.5 a	67.0 a	360.3 a	9310 a	3.9 a	89.4 a	170.1 a	---
Promedio	105.5	81.8	4.4	61.0	313.0	7042	2.9	83.1	128.6	---
DSH_{0.05}	19.5	41.3	3.3	28.6	178.5	6410	2.69	18.3	116.8	---
127 dds										
P1	131.0 b	150.3 a	5.8 a	105.0 a	558.8 ab	13950 ab	5.9 ab	99.2 a	153.5	---
P2	136.0 ab	183.3 a	5.8 a	106.8 a	660.0 a	16350 a	6.9 ab	99.1 a	210.3	---
P3	137.7 ab	127.3 a	4.3 a	102.0 ab	672.8 a	18730 a	7.1 a	100.0 a	191.4	---
P4	140.3 a	140.0 a	4.8 a	85.3 b	354.8 b	10420 b	4.4 b	93.7 b	165.8	---
Promedio	136.3	150.2	5.1	99.7	561.6	14863	6.0	98.0	180.2	---
DSH_{0.05}	7.6	74.5	1.7	18.9	205.4	5860	2.6	4.6	80.6	---
156 dds										
P1	151.8 a	202.8 a	7.3 a	27.8 a	145.3 a	1220 a	0.51 a	40.4 ab	92.4 ab	324.8 a
P2	161.8 a	205.3 a	7.3 a	38.8 a	173.3 a	1230 a	0.52 a	36.8 ab	107.0 ab	475.9 a
P3	163.3 a	183.3 a	5.0 b	44.8 a	182.8 a	2240 a	0.94 a	56.9a	116.9 a	414.7 a
P4	156.8 a	205.3 a	5.8 ab	32.8 a	181.3 a	1140 a	0.48 a	31.1 b	70.4 b	406.3 a
Promedio	158.4	199.1	6.4	36.0	170.6	1458	0.61	41.3	96.7	405.4
DSH_{0.05}	17.0	87.2	2.2	33.8	140.3	1220	0.51	24.1	38.1	206.7

AP: altura de planta (cm), NN: número de nudos por planta, NT: número de tallos por planta, NH: número de hojas por planta, AF: área foliar por planta (cm²), IAF: índice de área foliar, RI: radiación intercepta (%), DAFT: duración del área foliar total (días). P1=0, P2=33, P3=33 y P4=100 kg P ha⁻¹. ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

Cuadro 9. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87, 127 y 156 días después de la siembra (dds) en función del suministro de fósforo. San Pablo, México. Primavera 2007.

Tratamiento	AP	NN	NT	NH	NF	AF	IAF	RI	DAF	DAFT
87 dds										
P1	78.8 a ^z	51.5 a	2.8 a	45.0 a	200.0 a	5590 a	2.3 a	80.3 a	132.0 a	---
P2	87.5 a	49.5 a	3.3 a	41.5 a	205.8 a	4880 a	2.1 a	78.3 a	89.6 a	---
P3	90.0 a	43.5 a	2.8 a	38.8 a	268.5 a	7240 a	3.0 a	84.5 a	132.5 a	---
P4	83.3 a	55.5 a	3.1 a	49.8 a	198.0 a	5330 a	2.2 a	80.6 a	97.4 a	---
Promedio	84.9	50.0	2.8	43.5	218.1	5760	2.4	80.9	105.4	---
DSH_{0.05}	17.8	25.2	1.2	21.6	178.1	3950	1.7	14.7	72.2	---
127 dds										
P1	127.5 a	97.8 b	4.0 ab	49.5 a	228.0 a	8080 a	3.3 a	84.9 a	111.9 a	---
P2	128.8 a	97.8 b	3.5 b	54.5 a	238.3 a	6830 a	2.9 a	84.9 a	98.7 a	---
P3	133.8 a	124.8 a	4.8 a	66.8 a	267.5 a	8330 a	3.5 a	86.9 a	130.8 a	---
P4	134.8 a	111.3 ab	3.8 ab	51.8 a	263.5 a	7750 a	3.3 a	89.4 a	110.2 a	---
Promedio	132.2	108.0	4.0	56.9	249.3	7748	3.2	86.5	112.9	---
DSH_{0.05}	17.6	24.6	1.2	31.9	113.9	4990	2.1	15.3	38.3	---
156 dds										
P1	141.3 a	129.5 a	4.3 a	23.0 a	43.5 a	250 a	0.10 a	9.2 a	48.6 a	262.5 a
P2	143.8 a	141.0 a	4.1 a	16.5 a	73.8 a	730 a	0.31 a	24.0 a	46.1 a	234.3 a
P3	145.0 a	139.0 a	5.1 a	13.0 a	105.8 a	850 a	0.36 a	24.4 a	55.9 a	319.1 a
P4	146.3 a	135.5 a	5.3 a	25.0 a	110.0 a	1290 a	0.54 a	35.8 a	55.3 a	262.8 a
Promedio	144.1	136.3	4.7	19.3	83.3	780	0.30	23.3	51.4	269.7
DSH_{0.05}	22.6	43.1	2.3	25.3	95.4	1150	0.48	29.8	31.9	97.1

Cuadro 10. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87 y 127 días después de la siembra (dds) en función del suministro de fósforo. Cd. Serdán, Puebla. Primavera 2007.

Tratamiento	AP	NN	NT	NH	NF	AF	IAF	RI	DAF	DAFT
87 dds										
P1	60.0 ab ^z	24.5 a	2.0 b	22.8 a	92.5 a	2220 b	1.0 b	56.2 b	41.9 b	---
P2	70.3 a	35.8 a	4.5 a	30.5 a	113.0 a	3320 a	1.4 a	68.5 a	60.7 a	---
P3	59.0 ab	30.5 a	2.3 b	25.8 a	115.0 a	2200 b	1.0 b	50.6 b	40.9 b	---
P4	41.5 b	27.3 a	1.8 b	23.3 a	83.5 a	1700 b	0.7 b	49.0 b	31.0 b	---
Promedio	57.8	25.9	2.7	25.6	101.0	2360	1.0	56.1	43.6	---
DSH_{0.05}	18.7	12.1	1.8	9.6	50.1	590	0.3	9.3	12.6	---
127 dds										
P1	161.3 a	58.3 a	2.1 b	33.0 b	228.8 a	5300 a	2.4 a	81.7 a	67.2 ab	109.1 ab
P2	160.0 a	72.5 a	4.5 a	52.3 a	249.3 a	6180 a	2.6 a	92.0 a	79.8 a	140.4 a
P3	143.8 a	63.5 a	2.3 b	40.5 ab	211.8 a	5300 a	2.2 a	80.1 a	63.4 ab	104.2 b
P4	153.8 a	69.0 a	2.8 b	42.0 ab	219.3 a	4550 a	1.9 a	79.9 a	52.5 b	83.6 b
Promedio	154.7	65.8	2.9	42.0	227.3	5333	2.3	83.4	65.7	109.3
DSH_{0.05}	18.0	20.0	1.3	16.7	105.1	2860	1.3	12.8	26.4	32.4

AP: altura de planta (cm), NN: número de nudos por planta, NT: número de tallos por planta, NH: número de hojas por planta, AF: área foliar por planta (cm²), IAF: índice de área foliar, RI: radiación intercepta (%), DAFT: duración del área foliar total (días). P1=0, P2=33, P3=33 y P4=100 kg P ha⁻¹. ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

Cuadro 11. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127, 156 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función del suministro de fósforo. Montecillo, México. Primavera 2007.

Tratamiento	Materia seca (g m^{-2})			
	Hoja	Tallo	Fruto	Total
87 dds				
P1	155.1 b ^z	227.7 ab	19.1 a	401.9 ab
P2	159.5 b	165.5 b	7.3 a	332.1 b
P3	159.5 b	236.8 ab	20.5 a	416.8 ab
P4	198.5 a	306.9 a	21.3 a	526.7 a
Promedio	168.1	230.6	17.1	419.4
DSH_{0.05}	34.5	93.4	22.0	127.9
127 dds				
P1	309.1 ab	345.5 bc	73.2 a	727.8 a
P2	602.6 a	303.1 c	42.1 a	947.6 a
P3	464.3 ab	388.6 ab	73.2 a	926.1 a
P4	193.6 b	432.0 a	88.8 a	714.4 a
Promedio	392.4	357.3	69.3	829.0
DSH_{0.05}	391.7	48.3	48.9	409.5
156 dds				
P1	110.9 b	436.3 a	173.1 a	720.4 b
P2	121.1 ab	459.7 a	283.2 a	864.0 a
P3	115.1 ab	488.6 a	162.0 a	765.7 ab
P4	133.3 a	476.2 a	252.6 a	862.1 a
Promedio	120.1	483.3	217.7	803.0
DSH_{0.05}	20.7	139.9	129.2	137.1
Madurez fisiológica				
N1	---	289.9 a	212.6 a	502.4 a
N2	---	317.9 a	313.6 a	631.5 a
N3	---	250.9 a	319.4 a	570.2 a
N4	---	334.0 a	273.0 a	607.0 a
Promedio	---	338.8	279.6	577.8
DSH_{0.05}	---	103.2	155.7	209.1

P1=0, P2=33, P3=33 y P4=100 kg P ha⁻¹. ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %.

Cuadro 12. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127, 156 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función del suministro de fósforo. San Pablo, México. Primavera 2007.

Tratamiento	Materia seca (g m^{-2})			
	Hoja	Tallo	Fruto	Total
87 dds				
P1	133.8 a ^z	196.2 a	17.7 a	347.6 a
P2	134.7 a	174.6 a	18.0 a	327.2 a
P3	134.8 a	177.5 a	18.9 a	331.1 a
P4	140.9 a	185.8 a	17.6 a	344.2 a
Promedio	136.0	183.5	18.1	337.5
DSH_{0.05}	26.0	38.0	17.5	66.6
127 dds				
P1	117.5 b	316.8 a	112.1 ab	546.4 b
P2	139.1 ab	357.1 a	89.7 b	585.8 ab
P3	145.7 ab	400.2 a	181.0 a	726.9 a
P4	156.6 a	383.9 a	92.4 b	632.8 ab
Promedio	139.6	364.5	118.8	623.0
DSH_{0.05}	34.1	120.8	77.6	141.2
156 dds				
P1	57.0 a	451.5 a	186.5 a	769.4 a
P2	96.5 a	479.5 a	112.6 a	877.6 a
P3	106.3 a	404.7 a	168.2 a	746.8 a
P4	71.3 a	506.1 a	194.6 a	838.7 a
Promedio	82.7	460.5	165.5	808.1
DSH_{0.05}	59.5	183.0	124.8	281.1
Madurez fisiológica				
P1	---	349.8 a	315.7 c	665.4 b
P2	---	357.7 a	347.2 bc	704.8 ab
P3	---	402.8 a	462.6 ab	865.4 a
P4	---	401.8 a	481.7 a	883.4 a
Promedio	---	378.0	401.8	779.8
DSH_{0.05}	---	168.7	125.0	183.4

P1=0, P2=33, P3=33 y P4=100 kg P ha⁻¹. ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %.

Cuadro 13. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función del suministro de fósforo. Cd. Serdán, Puebla. Primavera 2007.

Tratamiento	Materia seca (g m^{-2})			
	Hoja	Tallo	Fruto	Total
87 dds				
P1	123.4 a ^z	146.5 a	---	269.8 a
P2	127.1 a	142.7 a	---	269.7 a
P3	123.7 a	156.8 a	---	280.5 a
P4	116.1 a	145.3 a	---	261.4 a
Promedio	122.6	148.0	---	270.5
DSH_{0.05}	15.1	19.1	---	27.4
127 dds				
P1	162.7 a	354.4 a	195.2 a	712.2 a
P2	158.2 a	260.1 a	196.5 a	607.1 a
P3	170.5 a	294.4 a	232.6 a	697.5 a
P4	165.2 a	330.3 a	204.8 a	700.3 a
Promedio	164.1	359.7	207.3	679.3
DSH_{0.05}	46.4	146.6	97.3	276.5
Madurez fisiológica				
P1	---	333.5 a	335.5 b	669.1 ab
P2	---	297.4 a	446.0 a	743.3 a
P3	---	252.8 a	288.4 b	541.2 b
P4	---	281.4 a	289.2 b	570.6 ab
Promedio	---	291.4	339.8	631.0
DSH_{0.05}	---	102.4	106.3	187.0

P1=0, P2=33, P3=33 y P4=100 kg P ha⁻¹. ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5.

Cuadro 14. Rendimiento de vaina verde (RVV, g m^{-2}), peso de vaina (PV, g) y número de vainas (NV, m⁻²) con suministro de fósforo en tres localidades del altiplano mexicano. Primavera 2007.

Tratamiento	Montecillo			San Pablo			Cd. Serdán		
	RVV	PV	NV	RVV	PV	NV	RVV	PV	NV
P1	733.3 b ^z	8.5 a	87.5 b	866.0 b	11.5 a	77.5 b	655.6 b	8.1 a	80.9 a
P2	1046.0 a	7.4 ab	143.6 a	895.9 b	12.5 a	80.0 b	786.0 ab	10.8 a	77.2 a
P3	804.2 b	6.9 b	116.1 a	970.4 ab	10.6 a	94.9 ab	980.4 a	11.4 a	86.1 a
P4	661.6 b	7.5 ab	86.4 b	1258.4 a	10.5 a	123.2 a	819.3 ab	10.5 a	80.7 a
Promedio	811.3	7.6	108.4	997.7	11.3	93.9	810.3	10.6	81.2
DSH_{0.05}	180.0	1.4	30.5	354.1	4.51	41.4	287.4	3.60	22.4

P1=0, P2=33, P3=33 y P4=100 kg P ha⁻¹. ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

Cuadro 15. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87, 127 y 156 días después de la siembra (dds) en función de la densidad de población. Montecillo, México. Primavera 2007.

Tratamiento	AP	NN	NT	NH	NF	AF	IAF	RI	DAF	DAFT
87 dds										
D1	110.0 a ^z	72.8 a	4.1 a	53.8 a	247.0 a	6140 a	1.9 b	73.9 ab	82.8 b	---
D2	104.5 a	86.3 a	4.3 a	62.5 a	303.8 a	5830 a	2.4 b	82.4 ab	106.5 b	---
D3	105.0 a	82.8 a	4.8 a	57.3 a	209.0 a	4120 a	2.5 b	90.4 b	125.3 b	---
D4	106.3 a	56.3 a	3.5 a	41.8 a	242.5 a	5610 a	7.0 a	96.8 a	305.1 a	---
Promedio	106.4	74.5	4.1	53.9	250.6	5425	3.5	85.9	154.9	---
DSH_{0.05}	19.5	41.3	3.3	28.6	178.5	6410	2.7	18.3	128.0	---
127 dds										
D1	130.0 a	134.8 a	5.1 a	96.3 ab	489.0 b	15040 a	4.7 b	95.8 a	131.3 b	---
D2	137.8 a	127.3 a	4.3 a	102.0 ab	672.8 a	18730 a	7.1 ab	100.0 a	191.4 b	---
D3	136.8 a	139.3 a	5.8 a	108.0 a	406.0 b	13670 b	8.5 a	100.0 a	155.4 b	---
D4	128.3 a	104.8 a	4.8 a	89.8 b	416.8 b	7900 b	9.9 a	100.0 a	337.8 a	---
Promedio	133.0	126.5	4.9	99.0	496.1	13835	7.5	99.0	204.0	---
DSH_{0.05}	17.1	47.4	1.9	12.9	127.4	6050	3.3	19.7	119.7	---
156 dds										
D1	146.8 b	190.0 a	6.3 ab	25.8 b	143.3 a	1330 a	0.41 a	28.0 b	73.6 b	287.6 b
D2	163.3 ab	183.3 a	5.0 b	44.8 a	182.8 a	2300 a	0.94 a	56.9 a	116.9 ab	414.7 b
D3	166.8 a	178.8 a	7.3 a	20.8 b	90.0 a	810 a	0.68 a	50.9 a	95.3 ab	376.1 b
D4	166.8 a	154.8 a	4.3 b	18.8 b	88.3 a	730 a	0.88 a	50.3 ab	156.0 a	789.8 a
Promedio	161.0	177.0	5.7	28.0	126.1	1293	0.70	46.5	110.4	469.3
DSH_{0.05}	16.8	68.9	2.2	17.0	120.5	2310	1.33	27.7	71.4	275.3

AP: altura de planta (cm), NN: número de nudos por planta, NT: número de tallos por planta, NH: número de hojas por planta, AF: área foliar por planta (cm²), IAF: índice de área foliar, RI: radiación intercepta (%), DAFT: duración del área foliar total (días). D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4=12.5 pl m⁻². ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

Cuadro 16. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87, 127 y 156 días después de la siembra (dds) en función de la densidad de población. San Pablo, México. Primavera 2007.

Tratamiento	AP	NN	NT	NH	NF	AF	IAF	RI	DAF	DAFT
87 dds										
D1	91.3 a ^z	50.8 a	3.3 a	43.5 a	186.8 a	5250 a	1.6 b	72.6 b	78.9 b	---
D2	90.0 a	43.5 a	2.8 ab	38.8 a	268.5 a	7250 a	3.0 b	84.5 ab	132.4 b	---
D3	87.5 a	37.3 a	2.1 bc	33.8 a	154.8 a	4610 a	2.9 b	82.0 ab	124.4 b	---
D4	97.5 a	33.3 a	1.8 c	29.0 a	169.0 a	4520 a	5.6 a	95.0 a	245.6 a	---
Promedio	91.5	41.2	2.4	36.2	194.8	5408	2.5	83.5	143.3	---
DSH_{0.05}	15.4	20.4	0.9	17.7	158.7	3000	2.3	13.3	96.6	---
127 dds										
D1	150.0 a	93.5 b	3.0 bc	44.0 b	234.3 a	6530 a	2.0 b	73.0 b	73.1 c	---
D2	133.8 b	124.8 a	4.8 a	66.8 a	267.5 a	8330 a	3.5 b	86.9 ab	130.8 bc	---
D3	136.3 ab	98.8 ab	3.5 b	43.0 b	245.5 a	7880 a	4.8 b	93.2 ab	154.7 b	---
D4	151.3 a	65.8 c	2.5 c	35.5 b	185.3 a	7380 a	9.2 a	99.8 a	296.7 a	---
Promedio	142.8	95.7	3.4	47.3	233.1	7530	4.9	88.2	163.8	---
DSH_{0.05}	15.9	27.7	0.9	20.7	180.9	6200	3.3	21.2	75.6	---
156 dds										
D1	160.0 a	134.5 ab	4.1 a	22.0 a	68.0 a	430 ab	0.13 ab	13.9 a	31.3 b	175.3 c
D2	145.0 a	139.0 a	4.3 a	13.0 ab	105.8 a	850 a	0.36 a	24.4 a	55.9 b	319.1 bc
D3	156.3 a	150.5 a	4.8 a	5.5 b	13.8 b	200 b	0.12 ab	10.3 a	72.5 b	351.5 b
D4	160.0 a	88.5 b	3.5 a	7.0 b	9.8 b	60 b	0.07 b	6.9 a	134.3 a	676.6 a
Promedio	152.5	128.1	4.1	11.9	49.3	385.0	0.20	13.9	73.5	380.6
DSH_{0.05}	17.1	48.0	2.3	14.7	50.5	510	0.26	25.5	50.6	174.9

Cuadro 17. Promedio de las variables evaluadas en el crecimiento de haba a los 87 y 127 días después de la siembra (dds) en función de la densidad de población. Cd. Serdán, Puebla. Primavera 2007.

Tratamiento	AP	NN	NT	NH	NF	AF	IAF	RI	DAF	DAFT
87 dds										
D1	50.0 b ^z	23.0 a	1.5 a	20.5 a	68.3 b	1640 ab	0.51 a	39.8 c	22.2 c	---
D2	59.0 a	30.5 a	2.3 a	25.8 a	115.0 a	2200 a	0.94 b	50.6 b	40.9 b	---
D3	53.5 ab	29.8 a	2.1 a	25.8 a	97.5 ab	1770 a	1.10 b	61.0 a	47.7 b	---
D4	55.8 ab	22.3 a	1.5 a	19.3 a	68.5 b	1210 b	1.51 a	69.8 a	65.8 a	---
Promedio	54.6	26.4	1.8	22.9	87.3	1705	1.00	55.3	44.1	---
DSH_{0.05}	6.6	14.3	0.9	13.0	42.4	570	0.37	8.8	16.3	---
127 dds										
D1	156.3 a	68.8 a	2.5 a	34.8 a	247.8 a	6780 a	2.1 b	75.5 b	55.2 b	84.0 b
D2	143.8 a	63.5 a	2.3 a	40.5 a	211.8 a	5300 a	2.2 b	80.1 ab	64.7 b	108.3 ab
D3	158.8 a	69.0 a	2.8 a	37.0 a	211.5 a	4530 a	2.8 b	85.2 ab	74.4 b	114.2 ab
D4	120.8 a	57.8 a	1.8 a	35.8 a	189.0 a	4400 a	5.5 a	95.1 a	134.0 a	187.2 a
Promedio	154.8	64.8	2.3	37.0	213.0	5253	3.2	84.0	82.1	123.4
DSH_{0.05}	60.2	20.1	1.1	17.3	125.3	3240	2.2	15.3	57.5	90.8

AP: altura de planta (cm), NN: número de nudos por planta, NT: número de tallos por planta, NH: número de hojas por planta, AF: área foliar por planta (cm²), IAF: índice de área foliar, RI: radiación intercepta (%), DAFT: duración del área foliar total (días). D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4=12.5 pl m⁻². ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con P≤0.05. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %

Cuadro 18. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127, 156 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función de la densidad de población. Montecillo, México. Primavera 2007.

Tratamiento	Materia seca (g m^{-2})			
	Hoja	Tallo	Fruto	Total
87 dds				
D1	123.8 c ^z	212.0 b	31.3 b	367.1 b
D2	159.5 c	236.8 b	20.5 b	416.8 b
D3	211.5 b	322.3 b	32.6 b	566.3 b
D4	517.4 a	688.3 a	81.1 a	1286.7 a
Promedio	253.0	364.8	41.4	659.2
DSH_{0.05}	41.9	157.3	39.2	204.0
127 dds				
D1	311.7 a	258.4 b	56.3 b	626.3 b
D2	464.3 a	388.6 b	73.2 b	926.1 b
D3	327.0 a	524.9 b	101.1 b	953.0 b
D4	1064.0 a	963.2 a	292.0 a	2319.2 a
Promedio	341.8	533.7	113.2	1206.1
DSH_{0.05}	193.5	20.6	96.7	437.8
156 dds				
D1	79.2 b	300.2 c	146.5 b	526.0 bc
D2	115.1 b	488.6 c	162.0 b	765.7 bc
D3	80.8 c	782.5 b	288.3 b	1151.6 b
D4	305.5 a	1364.1 a	730.0 a	2399.6 a
Promedio	174.2	733.9	331.7	1210.7
DSH_{0.05}	40.0	252.3	300.2	539.5
Madurez fisiológica				
D1	---	216.2 c	235.9 c	452.1 d
D2	---	250.9 c	319.4 b	570.2 c
D3	---	427.5 b	370.9 b	798.4 b
D4	---	766.1 a	733.1 a	1499.1 a
Promedio	---	415.2	414.8	830.0
DSH_{0.05}	---	96.3	72.2	99.2

D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4=12.5 pl m^{-2} . ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %.

Cuadro 19. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127, 156 días después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función de la densidad de población. San Pablo, México. Primavera 2007.

Tratamiento	Materia seca (g m^{-2})			
	Hoja	Tallo	Fruto	Total
87 dds				
D1	96.8 c ^z	126.6 d	4.7 c	228.0 d
D2	134.8 c	177.5 c	18.9 bc	331.1 c
D3	203.3 b	254.9 b	27.9 b	486.1 b
D4	378.1 a	493.0 a	73.6 a	944.6 a
Promedio	203.2	263.0	31.3	497.5
DSH_{0.05}	55.6	40.1	16.4	91.2
127 dds				
D1	101.3 c	314.4 b	71.5 b	487.2 c
D2	145.7 bc	400.2 b	181.0 b	726.9 bc
D3	180.0 b	505.9 b	167.2 b	853.1 b
D4	469.0 a	928.0 a	378.0 a	1774.9 a
Promedio	224.0	537.1	199.4	960.5
DSH_{0.05}	67.2	229.0	117.6	294.8
156 dds				
D1	56.5 a	323.8 c	248.0 b	628.3 c
D2	106.3 a	404.7 c	235.9 b	746.8 c
D3	60.2 a	697.9 b	470.0 a	1228.0 b
D4	97.8 a	1037.5 a	679.3 a	1814.6 a
Promedio	80.2	616.0	408.3	1104.4
DSH_{0.05}	113.6	184.0	211.0	222.3
Madurez fisiológica				
D1	---	244.0 c	345.2 b	589.2 c
D2	---	402.8 bc	462.6 b	865.4 bc
D3	---	511.4 ab	656.8 a	1168.2 ab
D4	---	713.9 a	733.2 a	1447.1 a
Promedio	---	468.0	549.5	1017.4
DSH_{0.05}	---	215.1	188.5	369.4

D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4=12.5 pl m^{-2} . ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %.

Cuadro 20. Acumulación de materia seca (g m^{-2}) en los diferentes órganos de la planta de haba a los 87, 127 después de la siembra (dds) y madurez fisiológica en función de la densidad de población. Cd. Serdán, Puebla. Primavera 2007.

Tratamiento	Materia seca (g m^{-2})			
	Hoja	Tallo	Fruto	Total
87 dds				
D1	92.8 d ^z	105.8 d	---	198.5 d
D2	123.7 c	156.8 c	---	280.5 c
D3	177.2 b	205.7 b	---	382.9 b
D4	345.3 a	404.6 a	---	749.9 a
Promedio	184.7	218.2	---	403.0
DSH_{0.05}	10.0	29.0	---	32.3
127 dds				
D1	117.3 c	271.3 c	158.7 b	547.2 b
D2	170.5 b	294.4 bc	232.6 b	697.5 b
D3	208.5 b	411.9 b	229.6 b	849.9 b
D4	428.9 a	739.8 a	487.5 a	1656.2 a
Promedio	231.3	429.3	277.1	937.7
DSH_{0.05}	48.5	131.3	169.8	315.5
Madurez fisiológica				
D1	---	238.4 c	229.6 b	468.0 b
D2	---	252.8 bc	288.4 b	541.2 b
D3	---	387.1 b	410.1 b	797.2 b
D4	---	764.4 a	775.0 a	1539.3 a
Promedio	---	425.8	410.6	636.4
DSH_{0.05}	---	140.0	245.3	362.7

D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4=12.5 pl m^{-2} . ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %.

Cuadro 21. Rendimiento de vaina verde (RVV, g m^{-2}), peso de vaina (PV, g) y número de vainas (NV, m^{-2}) en función de la densidad de población en tres localidades del altiplano mexicano. Primavera 2007.

Tratamiento	Montecillo			San Pablo			Cd. Serdán		
	RVV	PV	NV	RVV	PV	NV	RVV	PV	NV
D1	716.0 c ^z	8.4 a	86.2 c	727.3 d	9.2 a	79.2 c	734.7 b	8.8 a	26.9 a
D2	804.2 bc	6.9 a	116.1 bc	970.4 c	10.6 a	94.9 bc	980.4 b	11.4 a	20.5 ab
D3	1085.4 b	7.3 a	156.4 ab	1400.5 b	10.9 a	137.3 ab	993.2 b	9.8 a	17.4 ab
D4	1587.9 a	8.2 a	194.4 a	1741.6 a	10.3 a	170.0 a	1950.1 a	10.7 a	15.3 b
Promedio	1048.3	7.7	138.3	1209.9	10.2	120.3	1164.6	10.2	117.0
DSH_{0.05}	344.2	1.6	58.4	206.2	3.2	45.9	593.9	2.9	9.7

D1=3.1, D2=4.2, D3=6.2 y D4=12.5 pl m^{-2} . ^zValores con la misma letra dentro de cada columna son iguales de acuerdo a la prueba LSD con $P \leq 0.05$. DSH0.05=Diferencia Significativa Honesta al 5 %